

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
QUÍMICO

**CONTROL PREVENTIVO Y CORRECTIVO  
DEL BULKING FILAMENTOSO Y ESPUMAS  
SUPERFICIALES EN EL TRATAMIENTO  
BIOLÓGICO DE AGUAS SERVIDAS**

**Gabriela Salinas Silva**

Profesores guía:  
José Torres Titus  
Jaime Fernández Celis

**2013**

# AGRADECIMIENTOS

- A Dios por poner en mis manos las herramientas para lograr lo impensado.
- A mis padres Gabriela y Juan por luchar y sacrificarse día a día por mis sueños.
- A mis hermanos Juanito y Leito por hacerme reír y acompañarme en esta vida.
- A Fabrizio, el amor de mi vida, por estar conmigo en mis éxitos y fracasos, y hacer que cada momento de mi vida sea feliz.
- A toda mi familia por apoyarme y entregarme sus buenos deseos.
- A los Vinciguerra Orrego, por acogerme como una más de su familia.
- A mis amigos de la vida y de la universidad por hacer más grato el camino recorrido, en especial a mi amiga Bárbara quién me acompañó y animó en este proceso.

Una mención especial:

A Gonzalo Puebla, y toda la familia del área de calidad de Aguas Andinas S.A.

Finalmente:

Agradecer a mis profesores guías quienes con su responsable labor hicieron posible comenzar, realizar y finalizar de buena forma este trabajo.

# RESUMEN

Se observó que durante los años anteriores los métodos utilizados para mitigar los fenómenos del bulking filamentoso y espumas superficiales correspondían exclusivamente a la corrección de los problemas mediante la aplicación de hipoclorito de sodio y antiespumantes, y no a la prevención de estos, causando grandes inconvenientes desde el punto de vista operacional de las plantas, ya que se atacaba el problema una vez que este se hacía visible estando en etapas avanzadas, elevando los costos de operación y el tiempo de respuesta de las soluciones aplicadas.

Con respecto a lo anterior se realizó un seguimiento microscópico de seis meses a las plantas de tratamiento de aguas servidas Curacaví, El Monte, San José de Maipo y un estudio de caso a Til-Til pertenecientes a la empresa sanitaria Aguas Andinas S.A. durante los meses de otoño e invierno con la finalidad de establecer parámetros para el control preventivo y correctivo de los fenómenos de bulking filamentoso y espumas superficiales, los cuales se suscitan principalmente durante los meses de bajas temperaturas. Para esto se estableció un plan de muestreo semanal al licor mezcla y a las posibles espumas, de cada reactor biológico. Para lo anterior, se propuso la observación de la abundancia de bacterias filamentosas causantes del bulking y las espumas y ciertos bioindicadores cuya proliferación corresponden a condiciones específicas de operación.

A través de las observaciones se identificaron que las causas más comunes del bulking y las espumas son el déficit de oxígeno disuelto, el ingreso de RILes, bajas temperaturas y en ocasiones excesos de grasas y aceites. Cuyos efectos principales son una deficiente sedimentabilidad lo que provoca una disminución de la sequedad del lodo deshidratado y enturbiamiento del agua tratada lo que conlleva a una disminución del cloro residual y mayor gasto de hipoclorito de sodio para la desinfección.

Se efectuó una prueba de control en terreno a un fenómeno de espumas ocurrido en la planta de tratamiento Til-Til, mediante el cual se estableció que el seguimiento microscópico, la observación de abundancia de filamentosas y bioindicadores, el manejo del oxígeno disuelto en el reactor biológico, el registro de los ingresos de RIL y la correcta y

pronta aplicación de los insumos químicos pueden prever y eliminar de forma rápida y eficaz los eventos de bulking y espumas asociados a bacterias filamentosas.

Se realizó un análisis de costos comparativo de los años 2011 y 2012 a las plantas que contaban con las instalaciones para el control de los fenómenos, que son El Monte y Til-Til, donde se logró establecer que mediante la prevención y la corrección oportuna de los eventos se reducen los costos, llegando a ahorrar 47,06% en el gasto de antiespumante en la PTAS El Monte, además de un 6,67% y 57,91% en el gasto de hipoclorito de sodio para el control bulking y antiespumante respectivamente, en la PTAS Til-Til. Por otro lado, en las plantas que no contaban con los sistemas para el control de estos fenómenos que son, Curacaví (sin control de espumas) y San José de Maipo (sin control de bulking y espumas) los gastos de hipoclorito de sodio y antiespumante durante el periodo 2012 fueron:

- Curacaví: US\$/m<sup>3</sup> 0,011 hipoclorito de sodio, US\$/m<sup>3</sup> 0,035 antiespumante.
- SJM: US\$/m<sup>3</sup> 0,012 hipoclorito de sodio, US\$/m<sup>3</sup> 0,039 antiespumante

Además se realizó un análisis de costos general con los gastos totales de los insumos más representativos de cada año (2011 y 2012) y el caudal total de afluente tratado de las cuatro plantas, el cual arrojó una disminución de US\$/m<sup>3</sup> 0,002, lo que representa un ahorro del 2,67% en comparación con el 2011, esto último a pesar de que durante el 2012 se sumaron gastos extras debido a la instalación de sistemas para el control de bulking y espumas en plantas que no lo habían incorporado a su proceso, aumento en la capacidad de la PTAS El monte (construcción de un tercer reactor) y la propuesta de contratar personal para realizar el control microscópico.

Finalmente con los antecedentes recopilados mencionados anteriormente se estableció un protocolo de acción frente a estas eventualidades aplicable en las plantas de tratamiento de aguas servidas con aireación extendida de la empresa Aguas Andinas S.A. el cual establece pautas de prevención y eliminación del bulking filamentoso y las espumas superficiales mediante el control microscópico semanal y el análisis de los parámetros de proceso medidos en cada planta.

# ÍNDICE GENERAL

<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Tratamiento Biológico con Lodos Activados Mediante Aireación Extendida</b>	<b>3</b>
2.1.1 Factores que Intervienen en el Proceso	5
2.1.2 Parámetros de Control	5
2.1.3 Aireación	7
2.1.3.1 Aireación Extendida	8
2.1.4 Nitrificación y Desnitrificación	9
2.1.5 Estrategias de Control de la Aireación	10
2.1.5.1 Concentración de Oxígeno Disuelto	10
2.1.5.2 Potencial redox (ORP)	11
2.1.6 Proliferación de Bulking Filamentoso y Espumas	12
2.1.6.1 Causas del Bulking Filamentoso y Espumas	14
2.1.6.2 Efectos del Bulking Filamentoso y Espumas	15
2.1.6.3 Control del Bulking Filamentoso y Espumas	17
<b>2.2 Microbiología y Microscopía de lodos Activados</b>	<b>18</b>
2.2.1 Microscopía de Lodos Activados	20
2.2.1.1 Morfología del Flóculo	20
2.2.1.2 Bioindicadores	22
2.2.1.3 Bacterias filamentosas	23
<b>3 OBJETIVOS</b>	<b>27</b>
3.1 Objetivo General	27
3.2 Objetivos Específicos	27
<b>4 DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS</b>	<b>28</b>
4.1 Planta Elevadora de Aguas Servidas	28
4.2 Tratamiento Preliminar	29
4.3 Tratamiento Secundario	31

4.3.1	Reactor con Alimentación Continua	31
4.3.2	Reactor con Alimentación Discontinua, SBR	34
<b>4.4</b>	<b>Desinfección</b>	<b>38</b>
4.4.1	Radiación UV	38
4.4.2	Aplicación de Hipoclorito de Sodio	39
<b>4.5</b>	<b>Tratamiento de Lodos</b>	<b>40</b>
<b>4.6</b>	<b>Sistemas de Control de Bulking y Espumas</b>	<b>41</b>
<b>4.7</b>	<b>Controles Normativos y de Proceso</b>	<b>46</b>
4.7.1	Límites Normativos	46
4.7.1	Límites de Proceso	46
<b>4.8</b>	<b>Lay Out</b>	<b>49</b>
4.8.1	Lay Out Curacaví	49
4.8.2	Lay Out El Monte	50
4.8.3	Lay Out San José de Maipo	51
4.8.4	Lay Out Til-Til	52
<b>5</b>	<b>ANTECEDENTES 2011</b>	<b>53</b>
5.1	Eventos de Bulking y Espumas	53
5.2	Causas y Efectos de los Eventos de Bulking y Espumas	61
<b>6</b>	<b>SEGUIMIENTO MICROSCÓPICO</b>	<b>68</b>
<b>6.1</b>	<b>Curacaví</b>	<b>70</b>
6.1.1	Resultados del Seguimiento Microscópico Planta Curacaví	70
6.1.2	Comparación Antecedentes 2012 Planta Curacaví	77
6.1.3	Acciones para Controlar los Eventos del Bulking y Espumas Planta Curacaví	80
6.1.4	Efectos de los Eventos Ocurridos Planta Curacaví	81
<b>6.2</b>	<b>El Monte</b>	<b>83</b>
6.2.1	Resultados del Seguimiento Microscópico Planta El Monte	83
6.2.2	Comparación Antecedentes 2012 Planta El Monte	90

6.2.3 Acciones para Controlar los Eventos del Bulking y Espumas Planta El Monte	96
6.2.4 Efectos de los Eventos Ocurridos Planta El Monte	97
<b>6.3 San José de Maipo</b>	<b>98</b>
6.3.1 Resultados del Seguimiento Microscópico Planta SJM	98
6.3.2 Comparación Antecedentes 2012 Planta SJM	102
6.3.3 Acciones para Controlar los Eventos del Bulking y Espumas Planta SJM	103
6.3.4 Efectos de los Eventos Ocurridos Planta SJM	105
<b>6.4 Estudio de Caso: Til-Til</b>	<b>106</b>
6.4.1 Microscopía N°1: 17.08.2012	107
6.4.2 Microscopía N°2: 24.08.2012	110
6.4.3 Microscopía Extra: 29.08.2012	113
6.4.4 Microscopía N°3: 31.08.2012	115
6.4.5 Microscopía N°4: 07.09.2012	118
6.4.6 Efectos del Evento Ocurrido Planta Til-Til	121
<b>7 ANÁLISIS DE COSTOS</b>	<b>123</b>
<b>7.1 Costos del Hipoclorito de Sodio y Antiespumante</b>	<b>123</b>
7.1.1 Costos del Hipoclorito de Sodio y Antiespumante planta Curacaví	123
7.1.2 Costos del Hipoclorito de Sodio y Antiespumante planta El Monte	125
7.1.3 Costos del Hipoclorito de Sodio y Antiespumante Planta San José de Maipo	126
7.1.4 Costos del Hipoclorito de Sodio y Antiespumante Planta Til-Til	127
<b>7.2 Costos de Otros Insumos</b>	<b>128</b>
<b>7.3 Costos de Personal</b>	<b>133</b>
<b>7.4 Análisis de Costo General</b>	<b>133</b>
<b>8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>136</b>
<b>9 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>142</b>
<b>10 GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>	<b>144</b>

<b>11 ANEXOS</b>	<b>147</b>
<b>A. Formato del Informe de Microscopía Utilizando por ACAL</b>	<b>147</b>
<b>B. Detalle del Seguimiento Microscópico</b>	<b>151</b>
B.1 Curacaví	151
B.2 El Monte	157
B.3 San José de Maipo	166
B.4 Til-Til	171
<b>C. Protocolo de Acción para el Control Preventivo y Correctivo de los Fenómenos del Bulking y Espumas Asociado a Bacterias Filamentosas.</b>	<b>176</b>
<b>I. Alcance y Campo de Aplicación</b>	<b>176</b>
<b>II. Extracción de Muestras desde Reactores Biológicos</b>	<b>176</b>
II.1 Muestra de Licor Mezcla	176
II.1.1 Equipos y Materiales	176
II.1.2 Extracción de la Muestra	177
II.2 Muestra de Espuma	177
II.2.1 Equipos y Materiales	177
II.2.2 Extracción de la Muestra	178
II.3 Traslado y Almacenamiento de la Muestra	178
<b>III. Observación Microscópica</b>	<b>179</b>
III.1 Equipo y Materiales	179
III.2 Acondicionamiento del Microscopio y la Muestra	181
III.2.1 Preparación del Microscopio	181
III.2.2 Preparación de la Muestra	182
III.2.2.1 Licor Mezcla	182
III.2.2.2 Espuma	183
III.3 Observación de la Muestra	184
III.3.1 Características Físicas de la Muestra	186
III.3.1.1 Licor Mezcla	186



III.3.1.2 Espuma	187
III.3.2 Observación de los Flóculos	187
III.3.2.1 Forma	187
III.3.2.2 Estructura	188
III.3.2.3 Dispersión	189
III.3.3 Presencia de Zooglea	189
III.3.4 Filamentosas	190
III.3.4.1 Grado de Abundancia	190
III.3.4.2 Libres Móviles	191
III.3.4.3 Detalle de las Filamentosas	191
III.3.4.4 Tipo de Filamentosas	192
III.3.5 Diversidad Bacteriana	194
III.3.5.1 Bioindicadores	194
III.3.5.2 Otras Bacterias	197
<b>IV. Revisión de Parámetros Operativos</b>	<b>198</b>
<b>V. Observaciones</b>	<b>202</b>
<b>VI. Recomendaciones</b>	<b>202</b>
<b>VII. Elaboración de Informe</b>	<b>203</b>
<b>VIII. Acciones</b>	<b>203</b>
<b>IX. Seguimiento</b>	<b>205</b>
<b>D. Fichas Técnicas de Insumos Químicos Para Corregir el Bulking y las Espumas Superficiales</b>	<b>206</b>
D.1 Hipoclorito de Sodio	206
D.2 Antiespumante	207

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Valores comunes de ajuste de equipo OD.	11
--	----

<b>Tabla 2.2</b> Tipos de bacterias filamentosas y condiciones favorables para su proliferación por Jenkins y col en 1948.	25
<b>Tabla 4.1</b> Caudales de diseño de las PTAS.	28
<b>Tabla 4.2</b> Detalle de equipos principales del tratamiento secundario, PTAS SJM.	32
<b>Tabla 4.3</b> Capacidades de carga PTAS SJM.	32
<b>Tabla 4.4</b> Detalle de equipos principales del tratamiento secundario, PTAS Curacaví, El Monte y Til-Til.	35
<b>Tabla 4.5</b> Capacidades de carga, PTAS Curacaví, El Monte y Til-Til.	36
<b>Tabla 4.6</b> Formato de consignas de aplicación de hipoclorito de sodio para control bulking enviado por ACAL.	42
<b>Tabla 4.7</b> Formato de consignas de aplicación de antiespumante para disolución de espumas enviadas por ACAL.	42
<b>Tabla 4.8</b> Límites normativos, Descarga de aguas residuales.	46
<b>Tabla 4.9</b> Límites control proceso, Afluente.	46
<b>Tabla 4.10</b> Límites control proceso, Lodos activados.	47
<b>Tabla 4.11</b> Límites control proceso, Efluente.	47
<b>Tabla 4.12</b> Límites control proceso, Espesador de lodos biológicos.	47
<b>Tabla 4.13</b> Límites control proceso, Acumulador de lodos biológicos.	48
<b>Tabla 4.14</b> Límites control proceso, Deshidratación de lodos biológicos.	48
<b>Tabla 4.15</b> Límites control proceso, Encalado de lodos biológicos.	48
<b>Tabla 5.1</b> Cantidad de días con bulking filamentosos, SBR1 y 2 PTAS Curacaví 2011.	53
<b>Tabla 5.2</b> Consignas para el control bulking enviadas por ACAL, PTAS Curacaví 2011.	55
<b>Tabla 5.3</b> Cantidad de días con bulking filamentosos, SBR1, 2 y 3 PTAS El Monte 2011.	55
<b>Tabla 5.4</b> Consignas para el control bulking enviadas por ACAL, PTAS El Monte 2011.	56
<b>Tabla 5.5</b> Consignas para el control de espumas enviadas por ACAL, PTAS El Monte 2011.	57
<b>Tabla 5.6</b> Cantidad de días con bulking filamentosos, reactor biológico SJM 2011.	57
<b>Tabla 5.7</b> Consignas para el control bulking enviadas por ACAL, PTAS SJM 2011.	58
<b>Tabla 5.8</b> Cantidad de días con bulking filamentosos, SBR1 y 2 Til-Til 2011.	59
<b>Tabla 5.9</b> Consignas para el control bulking enviadas por ACAL, PTAS Til-Til 2011.	60

<b>Tabla 5.10</b>	Consignas para el control de espumas enviadas por ACAL, PTAS Til-Til 2011.	60
<b>Tabla 6.1</b>	Bioindicadores seleccionados para el seguimiento microscópico.	68
<b>Tabla 6.2</b>	Datos de proceso considerados en el seguimiento microscópico.	69
<b>Tabla 6.3</b>	Consignas para el control bulking, Curacaví periodo seguimiento 2012.	80
<b>Tabla 6.4</b>	Consignas para el control de espumas, Curacaví periodo seguimiento 2012.	81
<b>Tabla 6.5</b>	Consignas para el control de espumas, El Monte periodo seguimiento 2012.	96
<b>Tabla 6.6</b>	Consignas para el control bulking, San José de Maipo periodo seguimiento 2012.	104
<b>Tabla 6.7</b>	Consignas para el control de espumas, San José de Maipo periodo seguimiento 2012.	104
<b>Tabla 6.8</b>	Resultados microscopía N°1, estudio de caso Til-Til.	107
<b>Tabla 6.9</b>	Consignas de aplicación de productos químicos microscopía N°1, Til-Til.	110
<b>Tabla 6.10</b>	Resultados microscopía N°2, estudio de caso Til-Til.	110
<b>Tabla 6.11</b>	Consignas de aplicación de productos químicos, microscopía extra, Til-Til.	113
<b>Tabla 6.12</b>	Resultados microscopía N°3, estudio de caso Til-Til 2012.	115
<b>Tabla 6.13</b>	Consignas de aplicación de productos químicos, microscopía N°3, Til-Til.	117
<b>Tabla 6.14</b>	Resultados microscopía de productos químicos, microscopía N°4, Til-Til.	118
<b>Tabla 6.15</b>	Consignas de aplicación de productos químicos, microscopía N°4, Til-Til.	120
<b>Tabla 7.1</b>	Consumo y costo de hipoclorito de sodio, PTAS Curacaví.	124
<b>Tabla 7.2</b>	Consumo y costo de Antiespumante, PTAS Curacaví.	124
<b>Tabla 7.3</b>	Consumo y costo de hipoclorito de sodio, PTAS El Monte.	125
<b>Tabla 7.4</b>	Consumo y costo de Antiespumante, PTAS El Monte.	125
<b>Tabla 7.5</b>	Consumo y costo de hipoclorito de sodio, PTAS San José de Maipo.	126
<b>Tabla 7.6</b>	Consumo y costo de Antiespumante, PTAS San José de Maipo.	126
<b>Tabla 7.7</b>	Consumo y costo de hipoclorito de sodio, PTAS Til-Til.	127
<b>Tabla 7.8</b>	Consumo y costo de Antiespumante, PTAS Til-Til.	127
<b>Tabla 7.9</b>	Valores comerciales otros insumos.	128
<b>Tabla 7.10</b>	Consumo y costos de otros insumos, PTAS Curacaví.	129
<b>Tabla 7.11</b>	Consumo y costos de otros insumos, PTAS El Monte.	130

<b>Tabla 7.12</b> Consumo y costos de otros insumos, PTAS San José de Maipo.	131
<b>Tabla 7.13</b> Consumo y costos de otros insumos, PTAS Til-Til.	132
<b>Tabla 7.14</b> Costo general en US\$, años 2011 y 2012.	134
<b>Tabla 7.15</b> Costo general en US\$/m <sup>3</sup> , años 2011 y 2012.	135
<b>Anexos B</b>	
<b>Tabla B.1</b> Detalle seguimiento microscopías Curacaví.	151
<b>Tabla B.2</b> Detalle seguimiento microscopías El Monte.	157
<b>Tabla B.3</b> Detalle seguimiento microscopías San José de Maipo.	166
<b>Tabla B.4</b> Detalle seguimiento microscopías SBR1 Til-Til.	171
<b>Tabla B.5</b> Detalle seguimiento microscopías SBR2 Til-Til.	172
<b>Anexo C</b>	
<b>Tabla 1</b> Datos de planta afluente.	198
<b>Tabla 2</b> Datos de planta tratamiento biológico.	199
<b>Tabla 3</b> Datos de planta efluente, purga de lodos, deshidratación y otros.	200
<b>Tabla 4</b> Ejemplo: Consignas de aplicación de hipoclorito de sodio.	204
<b>Tabla 5</b> Ejemplo: Consignas de aplicación de antiespumante.	204

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Reacción de oxidación biológica.	4
<b>Figura 2.2</b> Principio básico del proceso de lodos activados.	4
<b>Figura 2.3 A)</b> Parrillas de aireadores sumergidos, <b>B)</b> Difusor de membrana de burbuja fina, <b>C)</b> aireador superficial flotante y <b>D)</b> aireador superficial en etapa de aireación.	8
<b>Figura 2.4</b> Umbral redox.	12
<b>Figura 2.5 A)</b> Flóculo sin bulking filamentoso y <b>B)</b> Flóculo con bulking filamentoso.	13
<b>Figura 2.6</b> Fases del crecimiento de bacterias aerobias.	19
<b>Figura 2.7</b> Abundancia de microorganismos en función de la edad del lodo.	19

<b>Figura 2.8 A)</b> Flóculos esféricos y regulares y <b>B)</b> Flóculo irregular.	21
<b>Figura 2.9 A)</b> Flóculo compacto y <b>B)</b> Flóculo abierto.	21
<b>Figura 2.10 A)</b> Dispersión normal, <b>B)</b> Alta dispersión y <b>C)</b> Exceso de dispersión.	22
<b>Figura 2.11</b> Bacterias formadoras de flóculo comúnmente observadas.	23
<b>Figura 2.12</b> Grado de abundancia de bacterias filamentosas propuestas por Jenkins y col 1948.	24
<b>Figura 2.13</b> Bacterias filamentosas.	26
<b>Figura 4.1</b> Planta elevadora, PTAS Curacaví.	29
<b>Figura 4.2</b> Tratamiento preliminar de San José de Maipo.	29
<b>Figura 4.3</b> Unidad HUBER, El Monte.	30
<b>Figura 4.4</b> Reactor biológico continuo, San José de Maipo.	33
<b>Figura 4.5</b> Clarificador con puente barredor de lodos, San José de Maipo.	33
<b>Figura 4.6 A)</b> SBR1 En etapa de sedimentación, <b>B)</b> SBR2 en etapa de aireación, PTAS Curacaví.	36
<b>Figura 4.7 A)</b> SBR1 en etapa de aireación, <b>B)</b> SBR2 en etapa de sedimentación, PTAS El Monte.	37
<b>Figura 4.8</b> SBR3 en etapa de aireación, PTAS El Monte.	37
<b>Figura 4.9 A)</b> SBR1 en etapa de sedimentación y <b>B)</b> SBR2 en etapa de aireación, estanque semi-circular, PTAS Til-Til.	37
<b>Figura 4.10</b> Lámparas UV, PTAS San José de Maipo.	38
<b>Figura 4.11 A)</b> Sala de cloración y <b>B)</b> Estanque de hipoclorito de sodio, PTAS Til-Til.	39
<b>Figura 4.12</b> Cámara de contacto PTAS Til-Til.	39
<b>Figura 4.13</b> Espesador gravitacional.	40
<b>Figura 4.14 A)</b> Espesador, <b>B)</b> Estanque acumulador y <b>C)</b> Lodos deshidratados y encalados en contenedor de lodos, PTAS El Monte.	41
<b>Figura 4.15</b> Puntos de aplicación de hipoclorito para el control del bulking Curacaví y El Monte.	43
<b>Figura 4.16</b> Puntos de aplicación de hipoclorito para el control del bulking, SJM y Til-Til.	44
<b>Figura 4.17 A)</b> Estanques de cloración en sala de cloración y <b>B)</b> Estanques de antiespumantes bajo techo, PTAS Curacaví.	44
<b>Figura 4.18 A)</b> Estanques de cloración en sala de cloración y <b>B)</b> Estanques de antiespumantes bajo techo, PTAS El Monte.	45

<b>Figura 4.19 A)</b> Estanques de cloración al aire libre y <b>B)</b> Estanques de antiespumantes al aire libre, PTAS San José de Maipo.	45
<b>Figura 4.20 A)</b> Estanques de cloración en sala de cloración <b>B)</b> Estanques de antiespumantes al aire libre, PTAS Til-Til.	45
<b>Figura 4.21</b> Lay out Curacaví.	49
<b>Figura 4.22</b> Lay out El Monte.	50
<b>Figura 4.23</b> Lay out San José de Maipo.	51
<b>Figura 4.24</b> Lay out Til-Til.	52
<b>Figura 5.1</b> Representación del IVL año 2011, PTAS Curacaví.	54
<b>Figura 5.2</b> Representación del IVL año 2011, PTAS El Monte.	56
<b>Figura 5.3</b> Representación del IVL año 2011, PTAS San José de Maipo.	58
<b>Figura 5.4</b> Representación del IVL año 2011, PTAS Til-Til.	59
<b>Figura 5.5</b> Causas bulking filamentoso y espumas SBR1, PTAS Curacaví 2011.	61
<b>Figura 5.6</b> Efectos bulking y espumas SBR1, PTAS Curacaví 2011.	62
<b>Figura 5.7</b> Causas bulking filamentoso y espumas SBR2, PTAS El Monte 2011.	63
<b>Figura 5.8</b> Efectos bulking y espumas SBR2, PTAS El Monte 2011.	63
<b>Figura 5.9</b> Causas bulking filamentoso y espumas reactor biológico, PTAS San José de Maipo 2011.	64
<b>Figura 5.10</b> Efectos bulking y espumas reactor biológico, PTAS San José de Maipo 2011.	65
<b>Figura 5.11</b> Causas bulking filamentoso y espumas SBR2, PTAS Til-Til 2011.	66
<b>Figura 5.12</b> Efectos bulking y espumas SBR2, PTAS Til-Til 2011.	66
<b>Figura 6.1</b> Observación de bioindicadores en licor mezcla del SBR1, PTAS Curacaví.	71
<b>Figura 6.2</b> Observación de filamentosas en licor mezcla del SBR1, PTAS Curacaví.	71
<b>Figura 6.3</b> Observación de bioindicadores en espumas del SBR1, PTAS Curacaví.	73
<b>Figura 6.4</b> Observación de filamentosas en espumas del SBR1, PTAS Curacaví.	73
<b>Figura 6.5</b> Observación de bioindicadores en licor mezcla del SBR2, PTAS Curacaví.	74
<b>Figura 6.6</b> Observación de filamentosas en licor mezcla del SBR2, PTAS Curacaví.	74
<b>Figura 6.7</b> Observación de bioindicadores en espumas del SBR2, PTAS Curacaví.	76
<b>Figura 6.8</b> Observación de filamentosas en espumas del SBR2, PTAS Curacaví.	76

<b>Figura 6.9</b> Causas de los fenómenos de bulking y espumas SBR1, Curacaví 2012.	78
<b>Figura 6.10</b> Oxígeno disuelto 10.08.2012, SBR1 Curacaví.	78
<b>Figura 6.11</b> Causas de los fenómenos de bulking y espumas SBR2, Curacaví 2012.	79
<b>Figura 6.12</b> Oxígeno disuelto 27.08.2012, SBR2 Curacaví.	80
<b>Figura 6.13</b> Efectos del aumento del IVL sobre el cloro residual, durante periodo de seguimiento 2012, Curacaví.	82
<b>Figura 6.14</b> Efectos del aumento de IVL sobre la sequedad del lodo, durante periodo de seguimiento 2012, Curacaví.	82
<b>Figura 6.15</b> Observación de bioindicadores en licor mezcla del SBR1, PTAS El Monte.	84
<b>Figura 6.16</b> Observación de filamentosas en licor mezcla del SBR1, PTAS El Monte.	84
<b>Figura 6.17</b> Observación de bioindicadores en espumas del SBR1, PTAS El Monte.	85
<b>Figura 6.18</b> Observación de filamentosas en espumas del SBR1, PTAS El Monte.	86
<b>Figura 6.19</b> Observación de bioindicadores en licor mezcla del SBR2, PTAS El Monte.	87
<b>Figura 6.20</b> Observación de filamentosas en licor mezcla del SBR2, PTAS El Monte.	87
<b>Figura 6.21</b> Observación de bioindicadores en licor mezcla del SBR3, PTAS El Monte.	89
<b>Figura 6.22</b> Observación de filamentosas en licor mezcla del SBR3, PTAS El Monte.	89
<b>Figura 6.23</b> Causas de los fenómenos de bulking y espumas SBR1, El Monte 2012.	91
<b>Figura 6.24</b> Oxígeno disuelto 04.07.2012, SBR1 El Monte.	91
<b>Figura 6.25</b> Causas de los fenómenos de bulking y espumas SBR2, El Monte 2012.	92
<b>Figura 6.26</b> Oxígeno disuelto 22.08.2012, SBR2 El Monte.	93
<b>Figura 6.27</b> Causas de los fenómenos de bulking y espumas SBR3, El Monte 2012.	94
<b>Figura 6.28</b> Oxígeno disuelto 03.08.2012, SBR3 El Monte.	94
<b>Figura 6.29</b> Comparación de los valores de IVL de los reactores biológicos de la PTAS El Monte 2012.	95
<b>Figura 6.30</b> Efectos del aumento del IVL sobre el cloro residual, durante periodo de seguimiento 2012, El Monte.	97
<b>Figura 6.31</b> Efectos del aumento de IVL sobre la sequedad del lodo, durante periodo de seguimiento 2012, El Monte.	98
<b>Figura 6.32</b> Observación de bioindicadores en licor mezcla, PTAS SJM.	99
<b>Figura 6.33</b> Observación de filamentosas en licor mezcla, PTAS SJM.	100

<b>Figura 6.34</b> Observación de bioindicadores en espumas, PTAS SJM.	101
<b>Figura 6.35</b> Observación de filamentosas en espumas, PTAS SJM.	101
<b>Figura 6.36</b> Causas de los fenómenos de bulking y espumas, SJM 2012.	102
<b>Figura 6.37</b> Oxígeno disuelto 30.07.2012, SJM.	103
<b>Figura 6.38</b> Efectos del aumento del IVL sobre el cloro residual, durante periodo de seguimiento 2012, San José de Maipo.	105
<b>Figura 6.39</b> Efectos del aumento de IVL sobre la sequedad del lodo, durante periodo de seguimiento 2012, San José de Maipo.	106
<b>Figura 6.40 A)</b> Espuma SBR1 y <b>B)</b> Espuma SBR2	108
<b>Figura 6.41 A)</b> Opercularia sp. SBR1, <b>B)</b> Opercularia sp. SBR2 y <b>C)</b> Opercularia sp. espuma SBR2.	108
<b>Figura 6.42</b> Oxígeno disuelto SBR1 17.08.12, Til-Til.	108
<b>Figura 6.43</b> Oxígeno disuelto SBR2 17.08.12, Til-Til.	109
<b>Figura 6.44 A)</b> Opercularia sp. SBR1 y <b>B)</b> Opercularia sp. SBR2.	111
<b>Figura 6.45</b> Oxígeno disuelto SBR1 24.08.12, Til-Til.	111
<b>Figura 6.46</b> Oxígeno disuelto SBR2 24.08.12, Til-Til.	112
<b>Figura 6.47</b> Oxígeno disuelto SBR1 29.08.12, Til-Til.	114
<b>Figura 6.48</b> Oxígeno disuelto SBR2 29.08.12, Til-Til.	114
<b>Figura 6.49 A)</b> Opercularia sp. SBR1 y <b>B)</b> Cilio vacío de Vorticella sp. SBR1.	115
<b>Figura 6.50</b> Opercularia sp. SBR2.	116
<b>Figura 6.51</b> Oxígeno disuelto SBR1 31.08.12, Til-Til.	116
<b>Figura 6.52</b> Oxígeno disuelto SBR2 31.08.12, Til-Til.	117
<b>Figura 6.53 A)</b> Opercularia sp. SBR1 y <b>B)</b> Cilio vacío de Vorticella sp. SBR1.	118
<b>Figura 6.54</b> Opercularia sp. SBR2.	119
<b>Figura 6.55</b> Oxígeno disuelto SBR1 07.09.12, Til-Til.	119
<b>Figura 6.56</b> Oxígeno disuelto SBR2 07.09.12, Til-Til.	120
<b>Figura 6.57</b> Efectos de la proliferación de espumas superficiales sobre el cloro residual.	122
<b>Figura 8.1</b> Sensor de membrana de barra, para el oxígeno disuelto	139
<b>Figura 8.2</b> Sensor de membrana de bola, para el oxígeno disuelto	140



**Figura 8.3** Sensor óptico, para el oxígeno disuelto 140

## **Anexos B**

**Figura B.1 A)** *M. parvicella*, licor mezcla SBR3 11.10.12, El Monte, **B)** *Nocardia* sp., licor mezcla SBR2 24.08.12, El Monte. 174

**Figura B.2 A)** Observación espuma SBR1 24.08.12, Curacaví, **B)** Muestra espuma SBR2 10.08.12, Curacaví. 174

**Figura B.3 A)** Zooglea, licor mezcla SBR1 07.06.12, El Monte, **B)** *Aspidisca* sp., licor mezcla SBR2 26.09.12, Til-Til y **C)** *Euchlanis* sp., licor mezcla SBR3 27.07.12, El Monte. 175

**Figura B.4 A)** *Vorticella* sp., licor mezcla SBR1 29.06.12, Curacaví, **B)** *Opecularia* sp., licor mezcla SBR1 12.09.12, Til-Til y **C)** Cilios vacíos de *Vorticella* sp., Espuma SBR1 27.07.12, El Monte. 175

**Figura B.5** *Phillodina* sp., licor mezcla 26.10.12, San José de Maipo. 175

## **Anexos C**

**Figura 1:** Ejemplo de etiqueta licor mezcla. 177

**Figura 2:** Ejemplo de etiqueta espumas. 178

**Figura 3: A)** Cooler, **B)** Ice pack y **C)** Disposición de las muestras para su traslado. 179

**Figura 4:** Rotulación Cooler, PTAS Aguas servidas Curacaví, Calidad de Aguas. 179

**Figura 5: A)** Microscopio, **B)** Contraste de fases, **C)** Porta y cubre objetos, **D)** Gotario y **E)** Cuchara de plástico 180

**Figura 6: A)** Mezclador, **B)** Solución de lavado y **C)** Agua destilada. 180

**Figura 7: A)** Pinzas, **B)** Papel tissue y **C)** Toalla de papel. 181

**Figura 8:** El Contraste de fase debe coincidir con el Objetivo elegido. 181

**Figura 9:** Visualización sin y con contraste de fase (A y B respectivamente), previo a la colocación de la muestra. 182

**Figura 10:** Homogenización de la muestra. 182

**Figura 11:** Extracción y depositación de la muestra. 183

**Figura 12:** Colocación de cubre objetos. 183

**Figura 13:** Toma muestra de espuma. 183

**Figura 14:** Dilución de la espuma. 184

**Figura 15:** Dilución de la espuma. 184

**Figura 16:** Instalación de la muestra en el microscopio. 185

<b>Figura 17:</b> Ajuste de la imagen, <b>A)</b> Desenfoque y <b>B)</b> Enfoque correcto.	185
<b>Figura 18:</b> Plan de observación sugerido.	186
<b>Figura 19:</b> <b>A)</b> Reflote y <b>B)</b> Decantación.	187
<b>Figura 20:</b> <b>A)</b> Regular y esférico y <b>B)</b> Irregular.	188
<b>Figura 21:</b> <b>A)</b> Compacta y <b>B)</b> Abierta.	189
<b>Figura 22:</b> <b>A)</b> Normal, <b>B)</b> Alta y <b>C)</b> Exceso.	189
<b>Figura 23:</b> Zooglea ramífera SJM 2012.	190
<b>Figura 24:</b> Grado de abundancia de bacterias filamentosas propuesta por Jenkins y col en 1948.	190
<b>Figura 25:</b> Beggiatoa, se pueden apreciar partículas luminosas en su estructura correspondientes a material de Azufre.	191
<b>Figura 26:</b> Ramificaciones de Nocardia amarae.	191
<b>Figura 27:</b> Ramificación verdadera.	192
<b>Figura 28:</b> Ramificación falsa.	192
<b>Figura 29:</b> Bacterias filamentosas con adherencias.	192
<b>Figura 30:</b> Tipos de bacterias filamentosas y condiciones favorables para su proliferación.	193
<b>Figura 31:</b> <b>A)</b> Microthrix parvicella y <b>B)</b> Nocardia amarae.	193
<b>Figura 32:</b> Característica genera de los ciliados.	194
<b>Figura 33:</b> Aspidisca sp.	194
<b>Figura 34:</b> Vorticella sp.	195
<b>Figura 35:</b> Vorticella con aspas giratorias.	195
<b>Figura 36:</b> Vorticella sin aspas giratorias.	195
<b>Figura 37:</b> Opercularia sp.	195
<b>Figura 38:</b> Características de los rotíferos.	196
<b>Figura 39:</b> Phillodina sp.	196
<b>Figura 40:</b> Euchlanis sp.	196
<b>Figura 41:</b> Prorodón sp.	197
<b>Figura 42:</b> Holophrya sp.	197

<b>Figura 43:</b> Litonotus sp.	197
<b>Figura 44:</b> Spirostomum sp.	197
<b>Figura 45:</b> Vaginícola subcrystallina sp.	197
<b>Figura 46:</b> Infusorio suctor sp.	197
<b>Figura 47:</b> Nematodo.	197

# 1 INTRODUCCIÓN

Un tratamiento de aguas servidas eficaz promueve que exista una buena sedimentabilidad, favoreciendo así la correcta separación sólido-líquido del licor mezcla en los reactores biológicos. Sin embargo un problema muy común en las plantas de tratamiento es el bulking filamentoso.

El bulking filamentoso es un abultamiento en el interior del licor mezcla lo que causa una sedimentabilidad deficiente y posterior problemas de compactación del lodo. Esta mala sedimentabilidad es provocada por la sobre proliferación de bacterias filamentosas, las que forman una malla que atrapa las bacterias formadoras de flóculos impidiendo la separación del lodo y el agua clarificada.

Si la sobre proliferación de bacterias filamentosas es excesiva, se pueden generar espumas superficiales, las que bajo ciertas condiciones de operación pueden volverse excesivas y perjudicar la calidad del agua tratada.

La adición de hipoclorito de sodio es la forma más común de corregir el bulking filamentoso, ya que al ser un bactericida potente elimina las bacterias. Sin embargo, esto también daña a los microorganismos formadores de flóculo. En el caso de las espumas el método habitual para su eliminación es la aplicación de antiespumante. La aplicación de ambos productos químicos pueden transformar el licor mezcla en un ambiente tóxico para las bacterias, pudiendo empeorar el problema en vez de solucionarlo, por lo que resulta primordial buscar la manera de prever el fenómeno.

El método principal para prevenir y controlar los fenómenos de bulking y espumas es mediante la observación microscópica del lodo activado, de esta forma se puede establecer la causa operacional del problema y corregirla antes de que se agrave.

Si bien la microscopía es de uso común en las plantas de tratamiento de aguas servidas, se debe establecer un procedimiento para cada planta en específico, ya que la diversidad de microorganismos depende entre otros factores, del tipo de agua tratada, variables operacionales, etc., por lo que no se observan las mismas bacterias en todas las unidades biológicas, inclusive si estas son de una misma planta.

## 2 MARCO TEÓRICO

Las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) tienen como propósito tratar afluentes que se componen principalmente de aguas domiciliarias, urbanas, de uso agrícola y pluviales. Estas, mediante una serie de operaciones que incluyen procedimientos físicos, químicos y biológicos, son capaces de eliminar y/o reducir los contaminantes presentes [1].

Los contaminantes de las aguas servidas son una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, suspendidas o disueltas, las que pueden ser ordenadas en 3 categorías [1].

- *Contaminantes Químicos:* Se componen de productos químicos orgánicos e inorgánicos, como por ejemplo, residuos alimenticios, materia vegetal, sales minerales, metales, etc.
- *Contaminantes Biológicos:* Estos se componen de agentes patógenos como virus y bacterias que son responsables de la transmisión de enfermedades como el cólera, hepatitis y fiebre tifoidea.
- *Contaminantes Físicos:* Principalmente partículas insolubles que enturbian y colorean el agua, sustancias radioactivas, cambios de temperatura, etc.

Tal como se mencionó anteriormente, se necesita una serie de operaciones para lograr depurar el agua, las que son divididas en tres etapas de tratamiento, primario, secundario y terciario [2]:

**Tratamiento Primario:** Es un proceso físico donde se eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua. Este comienza con una serie de rejas gruesas y finas capaces de retener sólidos de distintos tamaños, como por ejemplo, ramas, plásticos, etc., luego se pasa a unidades desarenadoras cuya función es separar las arenas o cualquier otro material que tenga velocidad de sedimentación o peso específico mayor al de los sólidos orgánicos del agua residual. En esta etapa también se efectúa la eliminación de las grasas mediante la utilización de paletas desgrasadoras.

**Tratamiento Secundario:** También denominado *Tratamiento Biológico*, tiene como objetivo principal reducir el contenido de materia orgánica mediante la utilización de bacterias que

degradan estos contaminantes transformándolos en gases que se liberan a la atmósfera y en material biológico eliminable por sedimentación.

Los procesos biológicos se clasifican según la necesidad de los microorganismos responsables del tratamiento por consumir oxígeno.

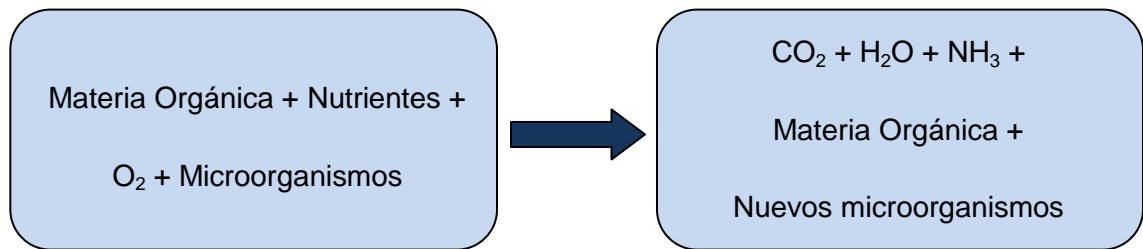
- *Tratamiento anaerobio*: Donde la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica se realiza en ausencia de oxígeno molecular ( $O_2$ ), obteniendo como sub producto la generación de gas metano ( $CH_4$ ) y  $CO_2$ .
- *Tratamiento aerobio*: Denominado también como *Lodos Activados*, ya que produce una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar los residuos por medio de la vía aeróbica (en presencia de oxígeno).

**Tratamiento Terciario**: Su finalidad es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios, como por ejemplo, nutrientes (nitrógeno y fósforo), aumentando la calidad del efluente al estándar requerido antes de que sea descargado al ambiente. Este se realiza higienizando el agua tratada, mediante la cloración o aplicación de radiación UV.

## 2.1 Tratamiento Biológico con Lodos Activados Mediante Aireación Extendida

El proceso de lodos activados es un sistema de depuración en el cual se mantiene un cultivo biológico constituido por una gran variedad de microorganismos vivos (bacterias) y aguas servidas a tratar (denominado *Licor Mezcla*). Estas bacterias se alimentan de las sustancias que contiene el agua contaminada para poder multiplicarse, cuyo metabolismo tiene lugar en presencia de oxígeno disuelto (Oxidación Biológica), de ahí que se les denomina *bacterias aerobias* [2].

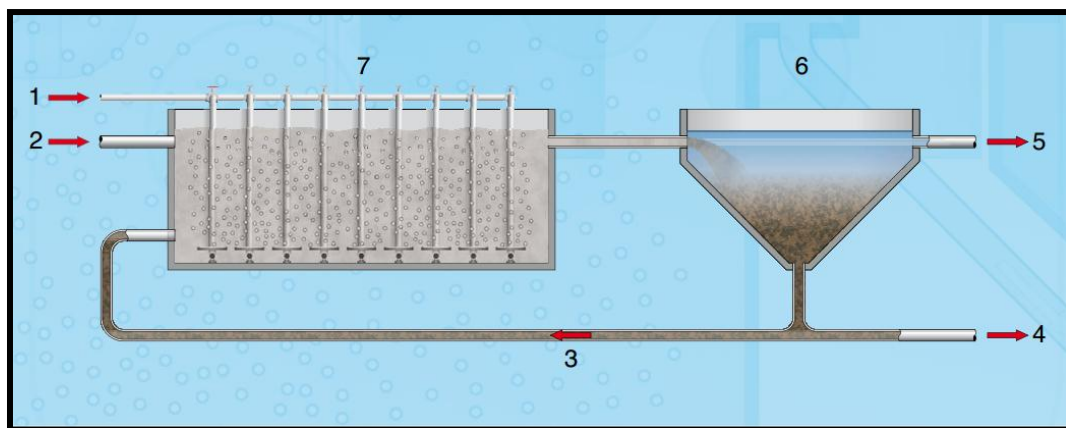
- *Oxidación Biológica*: Es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo con la siguiente reacción (**Figura 2.1**):



**Figura 2.1** Reacción de Oxidación Biológica.

La aireación del agua residual en el reactor biológico suministra oxígeno a las bacterias aerobias y como resultado del metabolismo se agrupan en flóculos, que se separan del agua residual depurada por sedimentación.

Con la corriente de agua tratada salen del reactor biológico más lodos activados de los que se pueden formar nuevamente en el mismo periodo de tiempo, entonces para poder compensar esta pérdida de biomasa, una parte del lodo se recircula al reactor. La fracción no recirculada (lodo en exceso) es un residuo del proceso (**Figura 2.2**).



**Figura 2.2** Principio básico del proceso de lodos activados: **1)** Aire, **2)** Agua residual, **3)** Lodo de retorno, **4)** Lodo en exceso, **5)** Agua depurada, **6)** Decantador secundario, **7)** Reactor biológico.

### 2.1.1 Factores que Intervienen en el Proceso

Existen varios factores influyentes en el metabolismo aerobio, en la práctica los más importantes son: Temperatura, pH, concentración de oxígeno disuelto y la composición del sustrato (nutrientes) [2].

- *Temperatura:* La cinética de un proceso biológico, según la ley de Arrhenius, depende de la temperatura en que éste se desarrolla. Además incide sobre la velocidad de transferencia de gases, la concentración máxima de equilibrio de oxígeno disuelto y las características de sedimentación de los flóculos, debido a la influencia sobre la viscosidad del agua.
- *pH:* El efecto del pH claramente afecta la composición de la biocenosis de los lodos activos. Los microorganismos comunes de los lodos activos son afectados por valores de pH menores a 6,5 y más altos que 8,5.
- *Concentración de Oxígeno Disuelto:* El oxígeno es fundamental y generalmente la etapa controlante de la velocidad del proceso, generalmente se intenta garantizar una concentración límite de 2 mg/L, la cual puede ser mayor dependiendo de la carga másica aplicada.
- *Composición de Sustrato y Equilibrio Nutricional:* La actividad biológica de los lodos y sus propiedades con respecto a la decantación son afectadas por la composición del agua residual. En sistemas convencionales de lodos activados se requiere una tasa de DBO5:N:P de 100:5:1 para mantener el balance de nutrientes óptimo para la actividad heterotrófica de los microorganismos. Se considera un agua desequilibrada cuando esta tasa no es alcanzada.

### 2.1.2 Parámetros de Control

Los parámetros de control que deben mantenerse dentro de ciertos rangos establecidos para asegurar un óptimo tratamiento, son la edad del lodo y la carga de alimentación aplicada. Este control se logra regulando adecuadamente los caudales de recirculación y purga de lodos [1].



- *Sólidos Suspendidos*: Determinar la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezcla ( $SS_{LM}$ ) es una manera primaria de evaluar la biomasa activa en el reactor biológico. Como parte de los  $SS_{LM}$  son inorgánicos, se expresa la biomasa a través de la fracción orgánica o sólidos suspendidos volátiles ( $SSV_{LM}$ ).
- *Edad del Lodo*: También denominado tiempo de retención celular afecta a las características y condiciones de los flóculos dentro del reactor biológico y es un factor operacional del control de la actividad de los lodos, por su directa influencia en la velocidad de crecimiento bacteriano. El crecimiento de una población bacteriana sigue una cinética de primer orden (**Ec. 1**):

$$V_{\text{aumento celular}} = K * [n^{\circ} \text{ o masa de células}] \quad \text{Ec. 1}$$

K = constante de velocidad de crecimiento.

- *Factores de Carga*: La materia orgánica biodegradable se mide en términos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), y la materia orgánica total por la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

**DBO**: Es una medida indirecta del contenido de materia orgánica. Se define como la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para degradar u oxidar la materia orgánica presente bajo condiciones aeróbicas. Teóricamente se requiere un tiempo infinito para completar la oxidación de la materia orgánica, en la práctica se ha aceptado como referencia la DBO a los 5 días de tratamiento, denominada  $DBO_5$  (70-80% de la oxidación). Su unidad está dada en  $mgO_2/L$ .

**DQO**: Todos los compuestos orgánicos se pueden oxidar por acción de un agente oxidante en condiciones muy ácidas. Este mide tanto la materia orgánica biológicamente oxidable y la no oxidable biológicamente (no permite diferenciarlas), pero su tiempo de análisis es mucho menor a la  $DBO_5$  (DBO 5 días, DQO 3 horas) ( $DQO > DBO$ ). Su unidad está dada en  $mgO_2/L$ .

El factor de carga másica **F/M** Se refiere a la relación entre la materia orgánica que entra en el reactor por unidad de tiempo y la masa de microorganismos existentes en

el mismo, su valor esta dado en  $\text{KgDBO}_5/\text{KgSSV}_{\text{LM}}\text{-d}$  (kilogramos de  $\text{DBO}_5$  por kilogramo de biomasa por día).

### 2.1.3 Aireación

Tal como se mencionó anteriormente los organismos aeróbicos dependen del oxígeno para mantener los procesos metabólicos que producen la energía necesaria para su crecimiento y reproducción [2]. Dicho gas debe ser suministrado en forma de oxígeno puro o aire, por medio de dispositivos que generalmente están sumergidos en los reactores, los cuales forman pequeñas burbujas en el líquido, denominados difusores de burbuja, ilustrados en la **Figura 2.3 A y B**, ya que a menor tamaño de burbuja, mayor será la superficie de contacto y la eficiencia de la difusión del oxígeno en el agua residual. Para aumentar más aún el coeficiente de difusión y el aprovechamiento del oxígeno inyectado, se generan ambientes turbulentos mediante agitación, empleando la misma masa de aire inyectada y/o con un medio mecánico, esto además sirve para realizar la *mezcla completa* del reactor (incorpora la masa de microorganismos *Licor mezcla* con el agua residual a tratar y el  $\text{O}_2$ ).

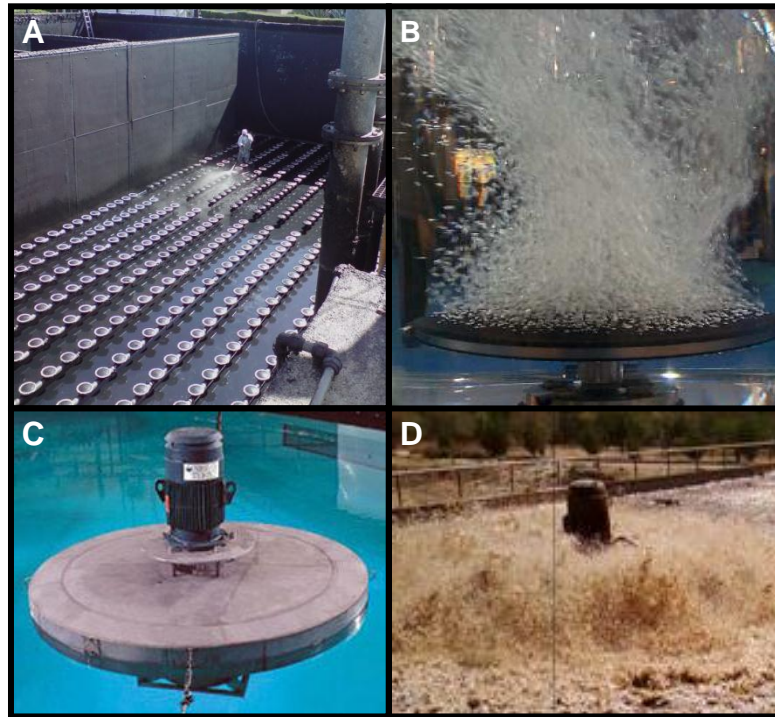
Otra alternativa para inyectar grandes volúmenes de oxígeno en el licor mezcla, es usando aireadores superficiales, ilustrados en la **Figura 2.3 C y D**, los cuales por acción de la agitación en la superficie del reactor, rompen la masa de líquido exponiendo el agua al aire atmosférico produciendo que el gas se disuelva en el líquido.

En la digestión aerobia, los microorganismos requieren además del oxígeno, una fuente de carbono orgánico, agua, fósforo, nitrógeno y otros nutrientes [2]. El medio también debe tener una temperatura y pH adecuado en el cual las bacterias puedan crecer y proliferar, ya que de esta manera el proceso será rápido y altamente efectivo.

En un medio óptimo, donde los nutrientes y el material orgánico están disponibles en abundancia, es necesario inyectar continuamente oxígeno (la solubilidad máxima del oxígeno en el agua es sumamente baja: 8.5 mg/L a 25°C), ya que en condiciones anaerobias la aparición de productos indeseables se hace presente, por lo que es necesario suministrar el oxígeno suficiente para mantenerlo en una concentración de entre 1 y 2 ppm, además de

evitar puntos muertos en el reactor biológico donde se puedan generar condiciones anaerobias.

Así como existen distintos tipos de aireadores, también existen distintos procesos de aireación en lodos activados, entre estos tenemos la aireación convencional, escalonada, por pasos, modificada, de alta velocidad, con oxígeno puro y extendida.



**Figura 2.3 A)** Parrillas de aireadores sumergidos, **B)** Difusor de membrana de burbuja fina, **C)** Aireador superficial flotante y **D)** Aireador superficial en etapa de aireación.

### 2.1.3.1 AIREACIÓN EXTENDIDA

En este tratamiento, las bacterias son retenidas durante periodos de aireación relativamente largos (edad del lodo) y no se tiene suficiente sustrato (baja relación F/M), provocando que los microorganismos entren en fase endógena y consuman su propio tejido celular. El resultado del metabolismo endógeno es que parte de las células o bacterias se convierten en gases y la masa de lodos es menor que la que se produce en un proceso de

lodos activados convencional, además los residuos generados son más estables y menos putrefactos, por lo que resulta menos problemático su manejo y disposición final.

## 2.1.4 Nitrificación y Desnitrificación

El proceso de nitrificación-desnitrificación (NDN) tiene como objetivo básico transferir a la atmosfera el nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) inicialmente contenido en el agua residual, en forma de nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ). Igualmente, el carbono orgánico biodegradable también será eliminado de la fase líquida en forma gaseosa ( $\text{CO}_2$ ).

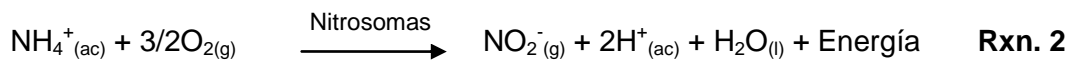
Se trata de un proceso microbiológico en el cual el amonio es oxidado por bacterias autótrofas a nitrato en presencia de oxígeno y carbono inorgánico (Nitrificación) y, a continuación, este nitrato es reducido por bacterias heterótrofas a nitrógeno molecular gas, en ausencia de oxígeno y presencia de carbono orgánico (desnitrificación) [1] [2].

- *Nitrificación*: Oxidación del amoníaco ( $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NH}_3$ ) en nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por acción de las bacterias (Autótrofas), según la siguiente reacción global (**Rxn. 1**):

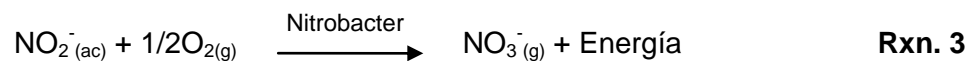


Este proceso se lleva a cabo en dos etapas, por medio de la intervención de dos familias de microorganismos, los Nitrosomas y Nitrobacter.

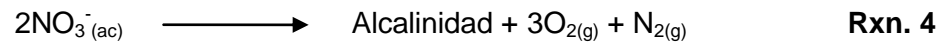
Primera etapa: El amonio se convierte a nitrito (**Rxn. 2**)



Segunda etapa: El nitrito se convierte a nitrato (**Rxn. 3**)



- *Desnitrificación*: Transformación del nitrato en nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>) mediante el metabolismo de bacterias, según la siguiente reacción (**Rxn. 4**):



La transformación del nitrato en nitrógeno se produce gracias a la acción de diversas especies de bacterias (Heterótrofas) que son capaces de reducir el nitrato, en un proceso de dos etapas. La primera consiste en convertir el nitrato en nitrito y en la segunda se producen óxido nitroso y nitrógeno gas. Según el siguiente proceso:



## 2.1.5 Estrategias de Control de la Aireación

El parámetro de control más importante en los procesos de lodos activados mediante aireación extendida es la concentración de Oxígeno Disuelto (OD). Mientras una concentración de OD demasiado baja inhibe el crecimiento de bacterias formadoras de floculo facilitando la proliferación de bacterias filamentosas, una concentración demasiado alta, del orden de los 8 a 10 mg/L, requiere un elevado consumo de energía. Por esto, es necesario encontrar el punto de equilibrio en el cual la entrega de oxígeno sea suficiente para mantener el buen estado del lodo sin elevar los gastos energéticos, para esto Aguas Andinas S.A. cuenta con dos sistemas de control para la aireación de sus reactores biológicos, descritos a continuación:

### 2.1.5.1 CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO

Como su nombre lo indica, este sistema de control se basa en la concentración del oxígeno disuelto indicada por los sensores en línea.

La operación automática de este sistema consta de cuatro valores de ajuste o seteo en el equipo OD,

1. Nivel alto (*high level*).

2. Nivel de seteo (*setpoint*).
3. Nivel bajo (*low level*).
4. Tiempo para detención por alto nivel (*High off delay time*), ajustado en 2 minutos.

En la **Tabla 2.1** se señalan los valores de ajuste comúnmente utilizados por Aguas Andinas S.A. en el automatismo de los sensores OD.

**Tabla 2.1** Valores comunes de ajuste de equipo OD.

<b>Valores de automatismo utilizados comúnmente, Concentración de OD (mg/L)</b>			
<b>High level</b>	<b>Setpoint</b>	<b>Low level</b>	<b>High off delay time</b>
3,5 mg/L	2,5 mg/L	1,5 mg/L	2 minutos

Estos valores varían de acuerdo a las condiciones y/o necesidades de cada planta.

La velocidad del soplador (entrega de oxígeno al reactor biológico) es controlada basándose en el punto ajustado versus la señal recibida de la concentración de oxígeno disuelto.

Por otro lado, el control manual se realiza ignorando la señal del sensor de OD y seteando una velocidad de inyección de oxígeno por parte del soplador.

#### **2.1.5.2 POTENCIAL REDOX (ORP)**

El ORP es la medida del estado oxidativo del licor mezcla, cuya evolución a lo largo de un ciclo de aireación está representada en la **Figura 2.4** [1].

En esta figura podemos observar que existen tres puntos de inflexión principales, la remoción de la DBO carbonacea, remoción completa de la materia nitrogenada y desnitrificación total.

En el sistema de control en base al ORP, identifica los puntos mínimos y máximos, en este caso a 150 y 450 EH(mV/H<sub>2</sub>) respectivamente, para comenzar o detener la aireación, asumiendo que durante dicho intervalo ocurren todos los puntos de inflexión importantes que completan la nitrificación-desnitrificación.

La evolución del ORP en condiciones aerobias está relacionada con la del oxígeno disuelto (contra punto), es decir, sus valores aumentan progresivamente hasta alcanzar los puntos de inflexión.

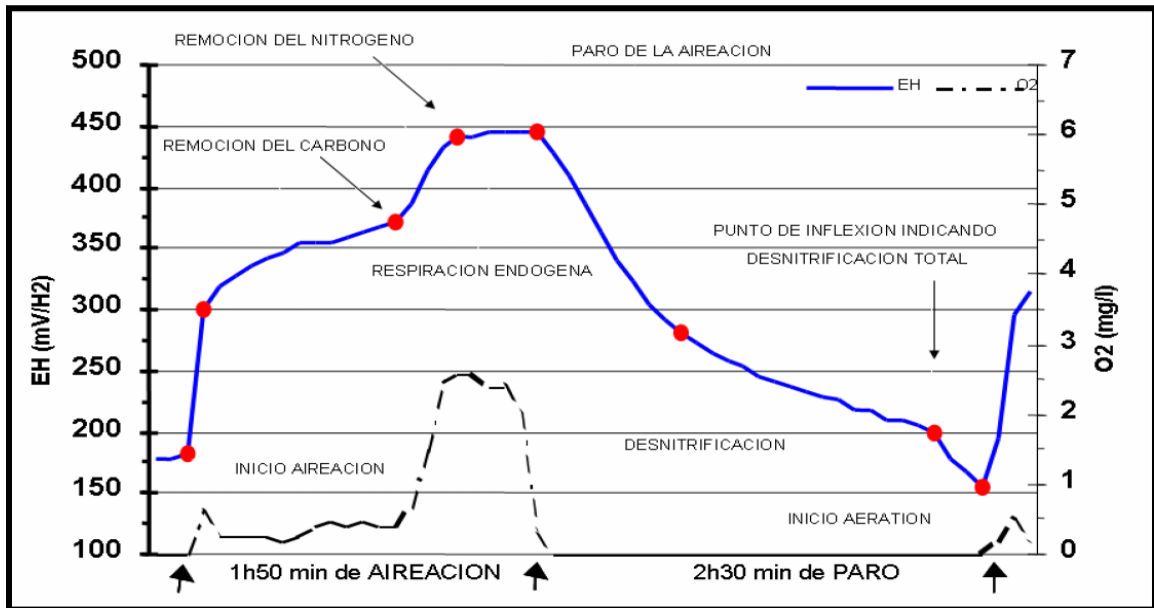
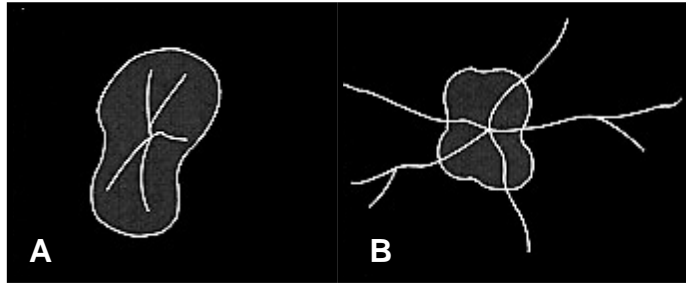


Figura 2.4 Umbral redox.

### 2.1.6 Proliferación de Bulking Filamentoso y Espumas

El abultamiento del lodo o bulking es un fenómeno en el cual, el lodo activado que habitualmente se separa eficazmente (separación sólido-líquido) debido a una correcta floculación, **Figura 2.5 A**, pierde esta capacidad por causa de la sobre proliferación de bacterias filamentosas, **Figura 2.5 B**. Estas bacterias tienden a unir los flóculos formando una estructura abierta y poco compacta, lo que resulta en el incremento del volumen del lodo. Como consecuencia se produce una pérdida de lodo hacia el efluente disminuyendo su calidad y con ello la eficiencia de la depuración [3].



**Figura 2.5 A)** Flóculo sin bulking filamentoso y **B)** Flóculo con bulking filamentoso.

Algunas de estas bacterias filamentosas pueden dar lugar a la formación de espumas. En este caso, los microorganismos se emulsionan debido a las bajas temperaturas, menores a 20°C, con las grasas que no fueron eliminadas eficazmente en el tratamiento primario, y que tienden a acumularse en la superficie de los reactores biológicos por flotación, empujados por las burbujas de aire, dando lugar a unas espumas densas que pueden llegar a tener gran consistencia, y que en ocasiones resulta un grave problema eliminarlas [3].

Comúnmente los fenómenos de bulking y espumas ocurren simultáneamente, sin embargo, estos no son dependientes entre sí, es decir, que proliferen espumas no necesariamente indica que existen problemas de bulking, y en caso de ocurrir eventos de bulking, no indica que vayan a producirse espumas.

La detección de los eventos de espumas sólo se pueden evidenciar de forma visual, mientras que el bulking se puede detectar por medio del Índice Volumétrico del Lodo (IVL).

**IVL:** Es el volumen ocupado por un gramo de lodo después de 30 minutos de decantación ( $V_{30}$ ) divididos por la masa activa del reactor  $SST_{LM}$  [1]. Este valor permite evaluar si el lodo decanta correctamente, y mientras menor sea, mejor será la sedimentabilidad.

Para una mejor sedimentación el valor debe ser menor a 150 mL/g, mientras que un valor superior a 200 mL/g indicaría que el sistema de lodos activados no está funcionando correctamente. Este parámetro se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula (**Ec. 2**):

$$IVL = \frac{V_{30}}{SST_{LM}} \left( \frac{mL}{g} \right) \quad \text{Ec. 2}$$



Donde:

$V_{30}$ : Es el volumen ocupado por el lodo después de 30 minutos de decantación.

$SST_{LM}$ : Son los sólidos suspendidos totales del licor mezcla.

### 2.1.6.1 CAUSAS DEL BULKING FILAMENTOSO Y ESPUMAS

De acuerdo a investigaciones realizadas con anterioridad en la empresa Aguas Andinas S.A. a PTAS con lodos activados mediante aireación extendida, las principales causas del bulking filamentoso son las siguientes [1] [3]:

- Déficit de oxígeno.
- Exceso de aceites y grasas.
- Déficit en la relación F/M.
- Retornos del espesador.
- Retornos de la centrifuga.
- Septicidad.
- Altas edades de lodo (retención hidráulica).
- Bajo pH.
- Déficit de nutrientes, entre otras.

En cuanto a los eventos de espumas, generalmente se presentan tres tipos diferentes, cada uno con diferentes causas de aparición:

**Espumas Blancas y Consistentes:** Indica un lodo joven y se encuentra normalmente tanto en plantas nuevas como en plantas sobrecargadas. La espuma puede consistir en detergentes o proteínas que no pueden ser convertidas en alimento por las bacterias que crecen en el licor de mezcla. Algunas causas probables son:

- Lodos activados no recirculados al tanque de aireación
- La presencia de condiciones desfavorables, como sustancias tóxicas o inhibidoras, condiciones anormales de pH, insuficiencia de OD, deficiencia de nutrientes, o cambios estacionales de temperatura.

**Espumas Marrones:** Estas espumas indican plantas operando en rangos de baja carga. Las plantas diseñadas para nitrificar tendrán normalmente cantidades bajas o moderadas de espumas marrones.

Las plantas con el microorganismo filamentoso *Nocardia* sp. tendrán una espuma grasosa y marrón oscura que será transportada sobre la superficie del reactor.

**Espumas Negras:** La presencia de espumas muy oscuras o negras indica tanto una aireación insuficiente, que resulta en condiciones anaeróbicas, o presencia de RIL.

#### 2.1.6.2 EFECTOS DEL BULKING FILAMENTOSO Y ESPUMAS

De acuerdo al mismo estudio realizado para detectar las causas del bulking filamentoso, se determinaron los siguientes efectos [1]:

**Mayor consumo de hipoclorito de sodio en la desinfección:** El cloro residual es el cloro que no se consume y que queda remanente en el efluente.

Se determinó que cuando aumentan los valores de IVL, sobre los 250 mL/g, hay una disminución del cloro residual, debido a que el clarificado del reactor contiene mayor cantidad de SST (causado por sedimentación deficiente) los que consumen el cloro inyectado para su desinfección.

**Mayor humedad del lodo deshidratado:** Se determinó que cuando aumentan los valores de IVL, los porcentajes de materia seca del lodo deshidratado contienen mayor humedad, debido a que los lodos en exceso enviados a deshidratación contienen una mayor cantidad de agua (separación sólido-líquido deficiente) y son más difíciles de deshidratar.

Bajo ciertas condiciones de operación, la espuma puede volverse excesiva y afectar las operaciones de la planta, ya que estas pueden ser arrastradas a las demás unidades del proceso, llegando incluso a la cámara de contacto (desinfección) y salir por el efluente. Estas pueden acarrear organismos patógenos ya que alojan bacterias contenidas en el licor mezcla, además generan apariencia desagradable y malos olores, siendo este último uno de

los problemas más graves ya que pueden afectar al medio ambiente y a los habitantes aledaños a la zona donde se ubica la planta.

De acuerdo a esto último, la legislación chilena medioambiental consagra expresamente en el artículo 19 N° 8 de la ley 19.300, sobre bases generales del medio ambiente, el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, siendo deber del Estado velar por que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza.

Es en esta perspectiva, el tema de la contaminación por malos olores, si bien puede llegar a constituir un real riesgo y daño para la salud de las personas, por regla general afecta principal y directamente el bienestar y la calidad de vida de la población aledaña a las fuentes emisoras o generadoras de tales olores.

En Chile la contaminación odorífera ha sido un tema tratado sólo tangencialmente dentro de la legislación, dedicándose la mayor parte de la normativa, actualmente vigente, a temas relativos sobre la contaminación atmosférica, calidad del aire y a la regulación de las emisiones de gases peligrosos (plomo, monóxido de carbono, dióxido de azufre, arsénico, etc.). Debido a esto último solo es posible encontrar algunas normas, que sólo tratan en términos generales el tema de los olores y ninguna específica a los olores de las plantas de tratamiento de aguas servidas.

En base a esto el Código Sanitario en su artículo 89 (*Libro III De la Higiene y Seguridad del Ambiente y de los Lugares de Trabajo; Título IV De Otros Factores de Riesgos; Párrafo I De la contaminación del aire y de los ruidos y vibraciones*), dicta "la conservación y pureza del aire y evitar en él la presencia de materias u olores que constituyan una amenaza para la salud, seguridad o bienestar del hombre o que tengan influencia desfavorable sobre el uso y goce de los bienes." Con respecto a la norma anterior, el Ministerio de Salud, dicta en 1961, el Decreto N° 144, que Establece Normas para Evitar Emanaciones o Contaminantes Atmosféricos de Cualquier Naturaleza.

También existen ordenanzas municipales que evitan la contaminación del aire se sus respectivas comunas con cualquier fuente de emisión, ya sean humos, gases, olores, etc.

Las infracciones de las ordenanzas municipales son sancionadas con multas, según lo dispuesto en el artículo inciso 2° de la ley 18.695, orgánica constitucional de municipalidades.

En cambio las infracciones a las normas medioambientales serán penadas de acuerdo a lo dispuesto por el Código Sanitario, las que serán sancionadas bajo la Ley de Organización y Atribuciones de los Juzgados de Policía Local.

### **2.1.6.3 CONTROL DEL BULKING FILAMENTOSO Y ESPUMAS**

El control del bulking filamentoso y las espumas se basa principalmente en corregir el problema que está causando dichos fenómenos, es decir, se deben controlar las variables que producen estrés y la sobre proliferación de las bacterias filamentosas. Por ejemplo [1]:

- Aumentar la aireación.
- Elevar el pH.
- Bajar la edad del lodo.
- Agregar nutrientes, etc.

Sin embargo, resulta de gran importancia realizar un análisis microscópico al licor mezcla y a las espumas, e identificar las bacterias y su abundancia, ya que no todos los microorganismos proliferan por la misma causa [4].

Aunque se detecte la causa de la sobre reproducción de bacterias filamentosas, y se logre controlar, estos problemas no se eliminan instantáneamente, por lo que se recurre a los productos químicos como *bactericidas* y *antiespumantes*.

El bactericida comúnmente utilizado para eliminar a las bacterias filamentosas es el Hipoclorito de sodio (Ver ficha técnica capítulo 11 Anexos, "*D. Fichas Técnicas de Insumos Químicos, D.1 Hipoclorito de sodio*"), este actúa sobre estos microorganismos ya que se encuentran más expuestos que los formadores de flóculos, pero se deben controlar las dosis de aplicación ya que un exceso de este químico puede dañar también a las bacterias floculantes.

Los productos químicos deben ser agregados en lugares de buen mezclado, para no afectar tanto a los flóculos normales. Se recomienda su agregado en la corriente de recirculación.

En el caso del antiespumante (Ver ficha técnica capítulo 11 Anexos, "*D. Fichas Técnicas de Insumos Químicos, D.2 Antiespumante*")., este se utiliza sólo en el caso de existir espuma superficial, y debe ser aplicado en la superficie del reactor utilizando agua para su correcta aspersion.

## 2.2 Microbiología y Microscopía de Lodos Activados

En los lodos activos los microorganismos individuales no son separados del medio de cultivo, es decir, crecen como un agregado o sea como flóculos. La habilidad de estos activos para flocular es la propiedad más importante de los lodos activos, porque permite la sedimentación gravitacional. Si las bacterias no flocularan, quedarían como sólidos biológicos en suspensión y no se cumpliría con el propósito de la depuración [5].

Los microorganismos de los lodos activos pueden ser divididos en dos grandes grupos:

- *Descomponedores*: Estos son responsables de la degradación bioquímica de sustancias en polución en las aguas residuales. Este grupo está compuesto por bacterias, hongos y algunos protozoos flagelados.
- *Consumidores*: Estos utilizan como sustratos a bacterias y otras células microbianas incrementando la carga másica. En este grupo encontramos a los protozoos y metazoos (rotíferos y nematodos).

Alrededor del 95% de la población microbiana de los lodos activos está formada por descomponedores, especialmente bacterias.

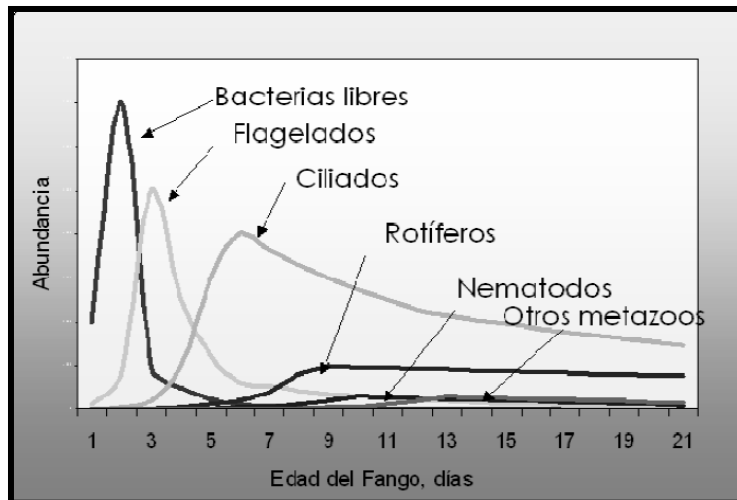
Existen 4 fases en la curva de crecimiento de las bacterias (**Figura 2.6**):

- *Fase de Retardo*: Aclimatación de las bacterias a su entorno.
- *Fase de Crecimiento Exponencial*: Las bacterias crecen tan rápido como les sea posible, debido a un exceso de alimento. El crecimiento es disperso.
- *Fase Estacionaria*: El número de bacterias es el mayor posible, estas se aglomeran formando flóculos.
- *Fase de Mortalidad*: Reducción del número de bacterias vivas.



**Figura 2.6** Fases del crecimiento de bacterias aerobias.

Los tipos de microorganismos presentes en el lodo activado en función de la edad del lodo está representado por el siguiente esquema (**Figura 2.7**):



**Figura 2.7** Abundancia de microorganismos en función de la edad del lodo.

Otro tipo de microorganismos que se pueden desarrollar en los lodos activados, son las bacterias filamentosas. Estas crecen en colonias, y cuando están presentes en pequeñas

cantidades son beneficiosas para el tratamiento, debido a que funcionan de manera similar a las bacterias formadoras de flóculos, ya que son buenas removedoras de DBO, forman biomasa, y además los filamentos pueden agregar estabilidad a las estructuras formadas por las bacterias floculadoras, previniendo que el flóculo se rompa por la acción de la aireación [6]. Sin embargo, en grandes cantidades los microorganismos filamentosos pueden causar muchos problemas, como por ejemplo el bulking filamentoso, proliferación de espumas y aumento en la producción de biosólidos.

## 2.2.1 Microscopía de Lodos Activados

La observación microscópica del licor mezcla debiese ser uno de los análisis rutinarios más importantes en una planta de lodos activados. De la observación del aspecto del lodo puede deducirse si el sistema está bien equilibrado o existe alguna disfunción [7].

En el examen microscópico tenemos que observar fundamentalmente [4] [7]:

- Tamaño y morfología del flóculo.
- Presencia y tipos de protozoos y de invertebrados inferiores que pueden ser orientativos (Bioindicadores).
- Presencia de bacterias filamentosas, tipo, abundancia y el efecto que tienen en el flóculo (existencia de puentes interfloculares y disgregación del floc).

### 2.2.1.1 MORFOLOGÍA DEL FLÓCULO

La correcta formación de los flóculos determina la calidad de los lodos activos, puesto que está relacionada con la sedimentabilidad, el Bulking, el espesamiento del lodo, y con la calidad final del efluente [7].

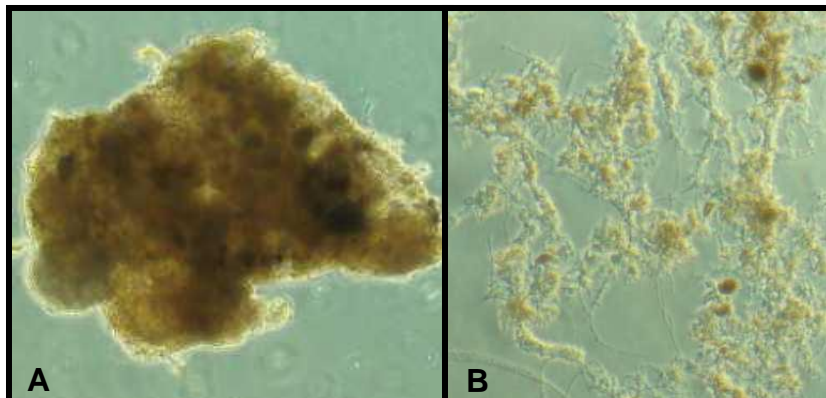
Mientras que partículas floculares de forma esférica y regular, indican que el flóculo es inmaduro, tal como se muestra al comienzo del proceso (puesta en marcha) o en la recuperación de este ante algún evento de inhibición de la biomasa, flóculos irregulares indican que la presencia de organismos filamentosos y otros bioindicadores es beneficiosa y el efluente es de buena calidad (**Figura 2.8**).

También podemos observar la estructura de los flóculos donde se presentan 2 tipos, compacta y abierta. Una correcta separación sólido - líquido tiene lugar cuando la estructura del floc es lo más compacta posible (**Figura 2.9**).

Finalmente se debe evidenciar el grado de dispersión de los flóculos, donde contamos con 3 clasificaciones, Normal, Alta y Exceso. Mientras una dispersión normal del floc es indicio de un lodo en buenas condiciones una dispersión alta o en exceso puede indicar un lodo demasiado joven, la presencia de material tóxico, aireación mecánica excesiva o un periodo demasiado largo a niveles bajos de oxígeno disueltos (**Figura 2.10**).

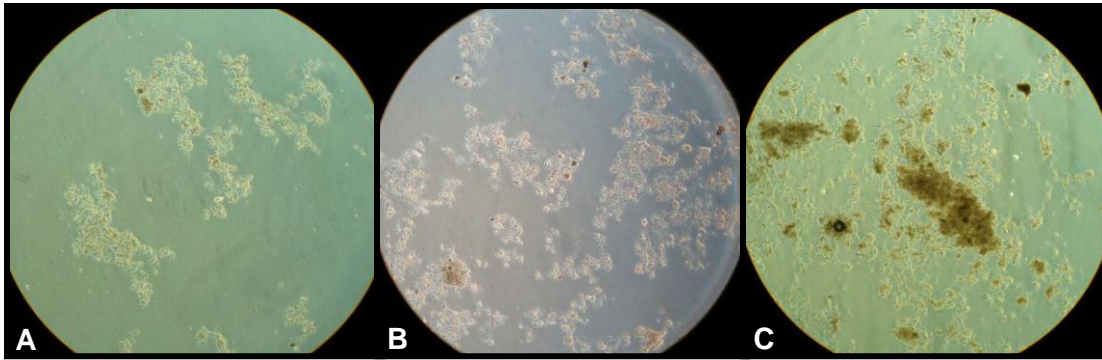


**Figura 2.8 A)** Flóculos esféricos y regulares y **B)** Flóculo irregular.



**Figura 2.9 A)** Flóculo compacto y **B)** Flóculo abierto.



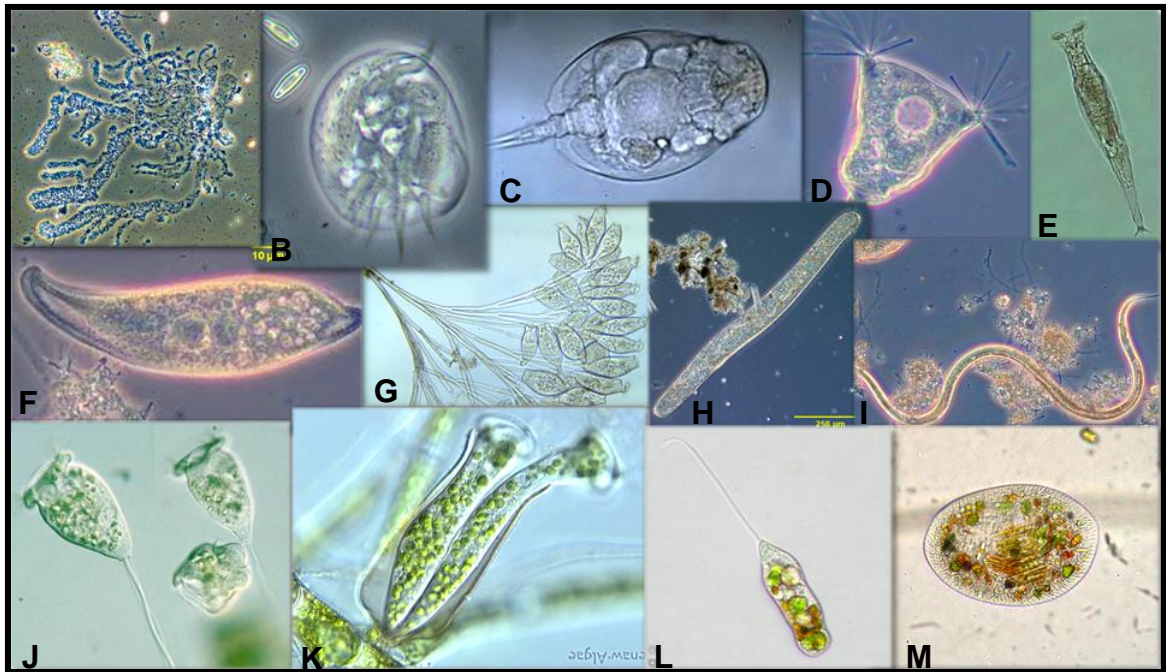


**Figura 2.10** A) Dispersión normal, B) Alta dispersión y C) Exceso de dispersión.

### 2.2.1.2 BIOINDICADORES

Las bacterias constituyen la población mayoritaria y más importante en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Una de las características más importantes de algunas bacterias es la capacidad de flocular, ilustradas en la **Figura 2.11**. Estos flóculos están constituidos por bacterias unidas unas a otras además de partículas orgánicas e inorgánicas. Gracias a esto se producirán efluentes más transparentes y de mejor calidad.

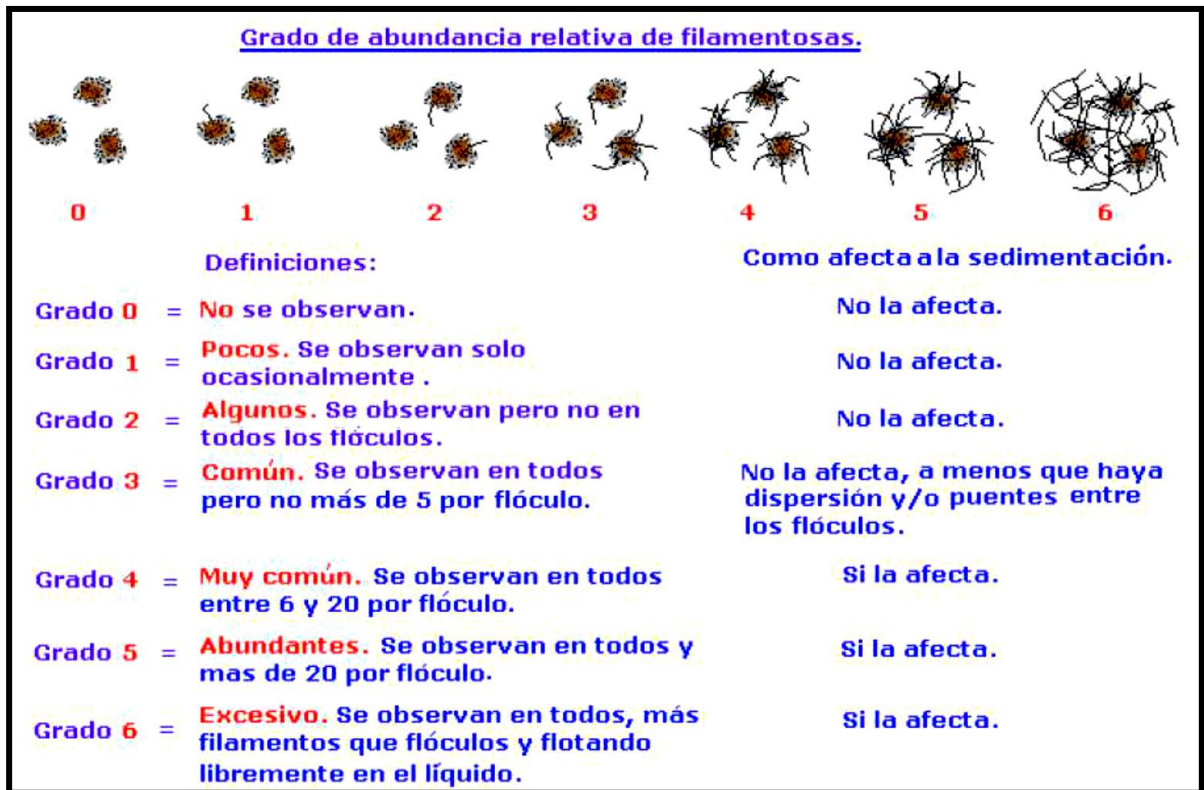
Los protozoos son organismos unicelulares que pueden metabolizar tanto alimentos solubles como insolubles, ayudando a que el efluente sea más claro y de mejor calidad. Constituyen aproximadamente el 5% del peso seco de los sólidos en suspensión del licor mezcla. Estos microorganismos actúan eliminando el exceso de bacterias no floculadas, es decir, consumen bacterias que son libres o no formadoras de flóculos (bacterias dispersas). Son un buen indicador directo de toxicidad, ya que son más sensibles a los tóxicos y a los cambios de oxígeno por lo que se utilizan como indicadores del funcionamiento de la planta. Los grupos básicos que pueden observarse en los fangos activados son: Flagelados, Amebas, Ciliados nadadores libres y Ciliados pedunculados. Cada uno de estos grupos desempeña una función concreta en el sistema y su aparición y abundancia reflejan las distintas condiciones fisicoquímicas existentes en los tanques de aireación, por lo que resulta ser un índice muy útil para valorar la eficacia del proceso de depuración [7].



**Figura 2.11** Bacterias formadoras de flóculo comúnmente observadas, **A)** Zooglea sp., **B)** Aspidisca sp, **C)** Euchlanis sp., **D)** Suctor sp., **E)** Phillodina sp., **F)** Litonotus sp., **G)** Opercularia sp., **H)** Spirostomum sp., **I)** Nematodo sp., **J)** Vorticella sp., **K)** Vaginícola sp., **L)** Peranema sp. y **M)** Prorodón sp.

### 2.2.1.3 BACTERIAS FILAMENTOSAS

A través de la observación microscópica se debe determinar el grado de abundancia (crecimiento o proliferación) de las bacterias filamentosas presentes en la muestra, para esto se debe realizar el conteo de los filamentos identificados en cada flóculo. En la **Figura 2.12** se muestra un diagrama propuesto por Jenkins y col (1948) sobre los grados de abundancia relativa de filamentosas, que va de 0 a 6 de menor a mayor proliferación respectivamente.



**Figura 2.12** Grado de abundancia de bacterias filamentosas propuesta por Jenkins y col en 1948.

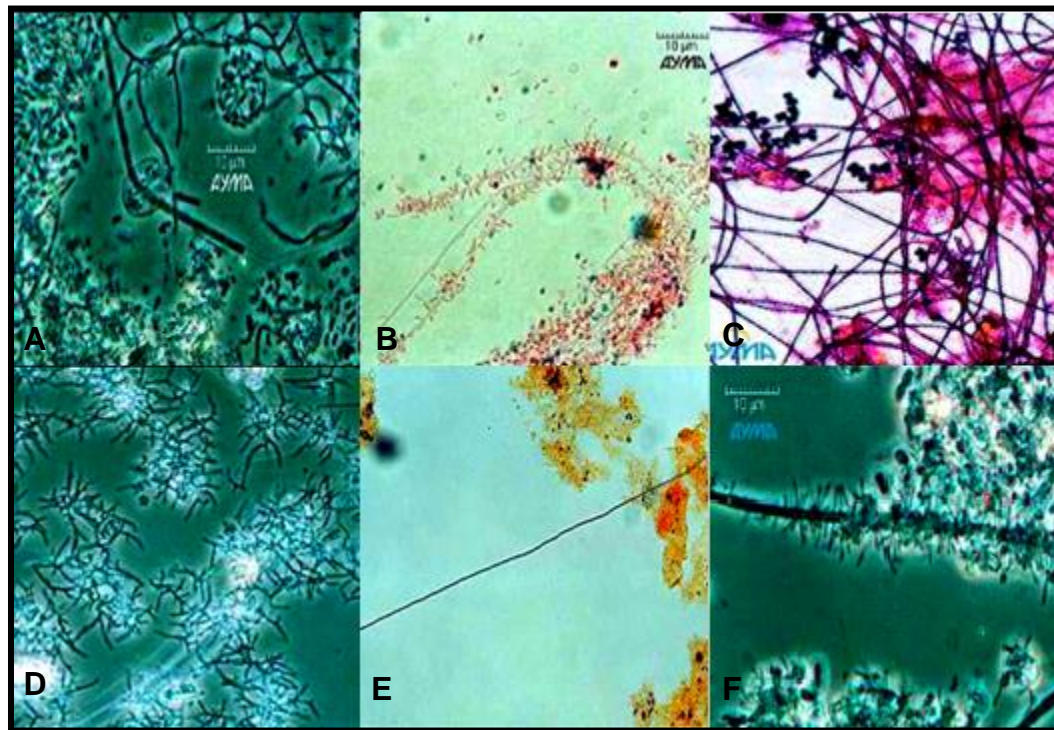
Por otra parte, es también importante identificar el o los tipos de bacterias filamentosas observadas, ya que cada especie tiene causas de proliferación distintas, y por ende se pueden distinguir las metodologías de control y prevención más adecuadas. Es importante mencionar que ante situaciones de déficit de OD y nutrientes, las bacterias filamentosas suelen verse favorecidas ya que utilizan sus largos filamentos para captar y consumir de forma preferencial estos elementos.

A continuación en la **Tabla 2.2** se presentan diferentes tipos de bacterias filamentosas y sus respectivas causas de proliferación (Jenkins y col en 1948).

**Tabla 2.2** Tipos de bacterias filamentosas y condiciones favorables para su proliferación por Jenkins y col en 1948.

<b>Tipo de Filamentosas Presentes</b>	<b>Condiciones que Favorecen su Desarrollo</b>
<b>S. natans, H. hydrosis, Tipo 1701</b>	Baja concentración de oxígeno disuelto (OD).
<b>M. parvicella, H. hydrosis, Tipo 021N, Tipos 0041, 0675, 0092, 0581, 0961 y 0803, Nocardia sp., N. Limícola</b>	Baja relación F/M.
<b>Thiothrix sp., Beggiatoa sp., Tipo 021N</b>	Condiciones sépticas, presencia de sulfuros.
<b>Thiothrix sp., S. natans, Tipo 021N, H. hydrosis y Tipos 0041 y 0675.</b>	Deficiencia de nutrientes Nitrógeno y Fósforo.
<b>Filamentosas Productoras de Espuma</b>	
<b>M. parvicella</b>	Presencia de grasas o aceites, bajas temperaturas.
<b>Nocardia sp.</b>	Alto tiempo de retención hidráulico, presencia de grasas o aceites, temperatura moderada.
<b>Tipo 1863</b>	OD bajo, pH bajo, presencia de grasas o aceites.

A continuación se ilustran las bacterias filamentosas más comunes en las observaciones microscópicas de las aguas residuales [1] (**Figura 2.13**).



**Figura 2.13** Bacterias filamentosas **A)** *Sphaerotilus natans*, **B)** Tipo 1701, **C)** *Microthrix parvicella*, **D)** *Nocardia* sp., **E)** *Beggiatoa* sp. y **F)** Tipo 0041.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo General**

Determinar un plan de control que permita prevenir y corregir la aparición de bulking y/o espumas asociadas a bacterias filamentosas en plantas de tratamiento de aguas servidas con lodos activados mediante aireación extendida, considerando exclusivamente las estaciones de otoño e invierno.

### **3.2 Objetivos Específicos**

1. Determinar las principales variables de proceso que gatillan los fenómenos de bulking y espumas, mediante el seguimiento microscópico de la microbiología del lodo activado y de los datos de los parámetros de control de procesos.
2. Determinar los mecanismos y estrategias más efectivas para controlar los fenómenos, valorizando que sean sistemas aplicables, implementables y operables en las plantas de tratamiento de aguas servidas.
3. Identificar buenas prácticas operativas y de control de procesos que permitan la prevención de los fenómenos, valorizando aquellas que consideren mejoras en los procesos unitarios y su control.
4. Realizar análisis del punto de vista del proceso y también de costos con el fin de determinar el impacto del desarrollo de estos planes en las plantas.
5. Implementar el plan de control propuesto en las plantas de tratamiento de aguas servidas de localidades.

## 4 DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS

Las plantas de tratamiento de aguas servidas de la empresa Aguas Andinas S.A. estudiadas, comprenden una serie de unidades operativas que son parte de cada etapa del proceso de depuración.

Estas plantas tratan primordialmente aguas domiciliarias, de uso agrícola y pluviales. En el caso de Til-Til y Curacaví presentan, además, un alto ingreso de RILes, ya que estas zonas están dedicadas a la manufactura de productos como las aceitunas, ají, etc.

### 4.1 Planta Elevadora de Aguas Servidas

Esta unidad está diseñada para cumplir dos funciones, la primera es recibir las aguas servidas captadas por los colectores correspondientes a cada localidad donde se ubican las PTAS, y la segunda función es permitir el ingreso sólo del caudal admisible según la capacidad de cada planta (**Tabla 4.1**).

Está compuesta por una reja gruesa de ingreso de 50 mm, un canastillo de retención de flotantes de 45 mm y equipos de bombeo que regulan el caudal admisible (**Figura 4.1**).

**Tabla 4.1** Caudales de diseño de las PTAS.

Planta de Tratamiento	Caudal Medio de Diseño	Caudal Máximo de Diseño (puntual)
CURACAVÍ	42 L/s	75 L/s
EL MONTE	66 L/s	114 L/s
SAN JOSÉ DE MAIPO	21 L/s	63 L/s
TIL-TIL	12,9 L/s	31,7 L/s

Datos obtenidos de informes técnicos de Aguas Andinas S.A.



**Figura 4.1** Planta elevadora, PTAS Curacaví.

## 4.2 Tratamiento Preliminar

En la PTAS San José de Maipo el tratamiento preliminar (**Figura 4.2**) consta con un área de tamizado, compuesto por rejas y un tornillo de elevación para la extracción de sólidos flotantes, y un área desarenadora donde decantan las arenas que son eliminadas mediante un tornillo clasificador elevador.



**Figura 4.2** Tratamiento preliminar de San José de Maipo, se encuentra sellado para evitar emisión de malos olores.



En cambio, en las plantas Curacaví, El Monte y Til-Til, el tratamiento preliminar se lleva a cabo en un equipo compacto llamado HUBER (**Figura 4.3**), el que incluye unidades de tamizado fino, desarenador y desgrasador.

- *Tamizado Fino (desbaste fino)*: Los sólidos finos son retirados por un tamiz rotatorio de 6 mm de separación y luego transportados a un contenedor de sólidos primarios.
- *Desarenador*: Con capacidad para remover el 90% de las arenas y partículas mayores a 0,2 mm, mediante la decantación y posterior arrastre mediante un juego de dos tornillos sin fin, uno horizontal que arrastra las arenas del fondo y luego uno vertical que las lleva hasta el contenedor de recepción.
- *Desgrasador*: Se separan las grasas mediante un sistema de inyección de aire que las acumula, luego son succionadas por una bomba y depositadas en el tornillo sin fin de arrastre de los sólidos utilizado en el tamizado fino.



**Figura 4.3** Unidad HUBER, El Monte.

## 4.3 Tratamiento Secundario

En la totalidad de las plantas estudiadas el tratamiento secundario se lleva a cabo en reactores biológicos que operan con mezcla completa, es decir, el lodo posee características uniformes en todo el equipo. En estos, el agua entrante es mezclada de manera instantánea y homogénea con el licor mezcla ya contenido, con lo cual se produce una concentración (masa/volumen) en el interior de la unidad que es igual a la concentración de salida, de esta forma se obtiene un bajo nivel de nutrientes para los microorganismos y se realiza el proceso con baja carga, para lograr esto, los reactores están dotados de mecanismos de agitación, los que garantizan un mezclado uniforme.

A pesar de que en todas las plantas se realiza el tratamiento biológico utilizando reactores con mezcla completa, no todos los procesos son iguales, ya que se diferencian principalmente en la forma en que son alimentados. Por esto último es que tenemos dos tipos de reactores, *Continuo* y *SBR*.

### 4.3.1 Reactor con Alimentación Continua

Este tipo de reactor es utilizado en el tratamiento secundario de la PTAS San José de Maipo, el cual consiste en una alimentación continua de aguas servidas pre-tratadas al reactor biológico (**Figura 4.4**), donde se lleva a cabo la aireación y agitación para la mezcla completa, y un clarificador o sedimentador (**Figura 4.5**) de donde se extrae el lodo a recirculación y el agua clarificada a desinfección.

La aireación se lleva a cabo mediante aireadores superficiales flotantes y su control es mediante un mecanismo patentado denominado OGAR, desarrollado por CIRSEE (*Centro Internacional de Investigación sobre el agua y el medio ambiente, perteneciente a la compañía francesa Suez Enviroment, patente USA 5624 565, 29 de Abril 1997*). Este sistema controla el arranque y detención de la inyección de aire por medio de la señal redox (*ver 2.1.5.2*) y tomado como contra punto el nivel de saturación de OD.

Las características de las unidades y las capacidades de carga del tratamiento se detallan en las **Tabla 4.2 y 4.3**:

**Tabla 4.2** Detalle de equipos principales del tratamiento secundario, PTAS SJM.

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad</b>
<b>Reactor Continuo</b>	1	1450 m <sup>3</sup>
<b>Aireadores Superficiales Flotantes</b>	2	30 KW; 43-58 KgO <sub>2</sub> /h.
<b>Agitadores Sumergibles</b>	2	3,5 KW
<b>Clarificador</b>	1	916 m <sup>3</sup>

Datos obtenidos de la ficha técnica de la planta.

**Tabla 4.3** Capacidades de carga PTAS SJM.

<b>Equipo</b>	<b>Concentración/Carga</b>
<b>DBO<sub>5</sub> de Diseño</b>	196 mg/L
<b>SST</b>	196 mg/L
<b>Carga DBO<sub>5</sub></b>	358 Kg/día
<b>Carga NTK</b>	90 Kg/día

Datos obtenidos desde memoria de cálculo de la planta.



**Figura 4.4** Reactor biológico continuo, San José de Maipo.



**Figura 4.5** Clarificador con puente barredor de lodos, San José de Maipo.

### 4.3.2 Reactor con Alimentación Discontinua, SBR

Este tipo de reactor es utilizado en las PTAS Curacaví, El Monte y Til-Til (**Figuras 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9**). Debido a que en estos equipos la alimentación es discontinua, se dispone de dos o más reactores para poder tratar el caudal constante de agua entrante a la planta. Dichos equipos cumplen con ciclos, los cuales se componen de tres etapas, aireación, sedimentación y descarga. Cada ciclo dura 288 minutos (4,8 horas) y se realizan 5 de estos por día, y cada reactor los desarrolla de forma individual y distinta de los demás, de esta forma se asegura la continuidad del proceso.

- *Aireación:* Esta dura un tiempo de 168 minutos y se compone de dos etapas, la inyección de oxígeno y agitación. Estas funciones se realizan completando 4 ciclos de 24 minutos cada uno. La aireación se efectúa utilizando aireadores de membrana que están instalados en parrillas situadas en el fondo del reactor y su control se realiza en base a la concentración de OD (ver 2.1.5.1), por otro lado la agitación se realiza con agitadores sumergidos. Durante este periodo también se lleva a cabo el llenado del reactor.
- *Sedimentación:* Esta etapa tiene un tiempo de duración de 1 hora, durante este periodo ocurre la separación física del licor mezcla, donde los flóculos formados por las bacterias decantan formando lodo y dejando en la parte superior del reactor el agua clarificada.
- *Descarga:* En esta etapa, que tiene una duración de 1 hora, se retira mediante un *decanter* el agua depurada.

Las características de las unidades y las capacidades de carga del tratamiento para cada planta se detallan en las **Tabla 4.4 y 4.5**:

**Tabla 4.4** Detalle de equipos principales del tratamiento secundario, PTAS Curacaví, El Monte y Til-Til.

<b>Planta</b>	<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad</b>
<b>CURACAVÍ</b>	Reactor tipo SBR	2	1761 m <sup>3</sup>
	Difusor de Burbuja Fina	1100 por estanque	4200 Nm <sup>3</sup> /h
	Agitadores Sumergibles	2 por estanque	5,5 KW
	Soplador	1 por estanque	2240 Nm <sup>3</sup> /h
	Decanter	1 por estanque	-
<b>EL MONTE</b>	Reactor tipo SBR	3	1761 m <sup>3</sup> (2) 1818 m <sup>3</sup> (1)
	Difusor de Burbuja Fina	1148 por estanque	S/D
	Agitadores Sumergibles	2 por estanque	7,5 KW
	Soplador	1 por estanque	4672 m <sup>3</sup> /h
	Decanter	1 por estanque	-
<b>TIL-TIL</b>	Reactor tipo SBR	2	720 m <sup>3</sup>
	Difusores	425 por estanque	2254 Nm <sup>3</sup> /h
	Agitadores Sumergibles	2 por estanque	2 KW
	Soplador	1 por estanque	1107 Nm <sup>3</sup> /h
	Decanter	1 por estanque	-

Datos obtenidos de las fichas técnicas de las plantas.

**Tabla 4.5** Capacidades de carga, PTAS Curacaví, El Monte y Til-Til.

<b>Planta</b>	<b>Equipo</b>	<b>Concentración/Carga</b>
<b>CURACAVÍ</b>	DBO <sub>5</sub> de Diseño	215 mg/L
	SST	219 mg/L
	Carga DBO <sub>5</sub>	423 Kg/día/estanque
	Carga NTK	74,9 Kg/día/estanque
<b>EL MONTE</b>	DBO <sub>5</sub> de Diseño	248 mg/L
	SST	285 mg/L
	Carga DBO <sub>5</sub>	472,5 Kg/día/estanque
	Carga NTK	86,03 Kg/día/estanque
<b>TIL-TIL</b>	DBO <sub>5</sub> de Diseño	247 mg/L
	SST	247 mg/L
	Carga DBO <sub>5</sub>	205,9 Kg/día
	Carga NTK	55 Kg/día

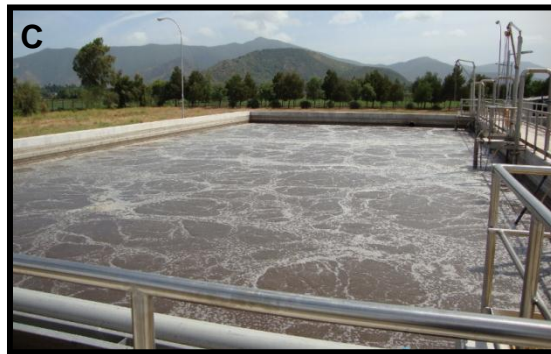
Datos obtenidos desde memorias de cálculo de las plantas.



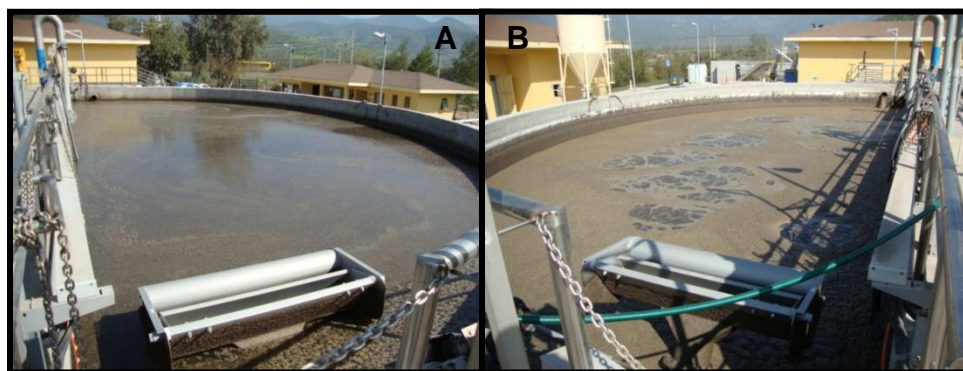
**Figura 4.6** A) SBR 1 en etapa de sedimentación y B) SBR 2 en etapa de aireación, PTAS Curacaví.



**Figura 4.7 A)** SBR 1 en etapa de aireación y **B)** SBR 2 en etapa de sedimentación, PTAS El Monte.



**Figura 4.8** SBR 3 en etapa de aireación, PTAS El Monte.



**Figura 4.9 A)** SBR 1 en etapa de sedimentación y **B)** SBR 2 en etapa de aireación, Estanque semi-circulares, PTAS Til-Til.



## 4.4 Desinfección

La desinfección tiene como objeto eliminar elementos patógenos que no son removidos en el tratamiento secundario. Esta tiene dos formas de efectuarse dependiendo de la planta estudiada, mediante la radiación UV o aplicación de hipoclorito de sodio.

### 4.4.1 Radiación UV

La desinfección UV consiste en destruir los microorganismos bacterianos utilizando las propiedades que poseen los rayos ultravioletas. La acción germicida de estos tiene una eficacia máxima entre 250 y 265 nm que se traduce en una deformación del ADN bacteriano que produce un bloqueo de la reproducción genética celular.

Este tipo de desinfección se lleva a cabo en la PTAS San José de Maipo, para esto consta de 2 lámparas UV (**Figura 4.10**) cuyo diseño contempló una condición de 65% de transmitancia a 254 nm como máximo. No se cuenta con cámara de contacto debido a que no se aplica ningún químico bactericida que necesite tiempo de contacto.



**Figura 4.10** Lámparas UV, PTAS San José de Maipo.

## 4.4.2 Aplicación de Hipoclorito de Sodio

El hipoclorito de sodio es un bactericida muy agresivo ya que afecta el metabolismo de la glucosa y la replicación del ADN, además de modificar los constituyentes de la célula bacteriana.

Esta forma de desinfección es utilizada en las PTAS Curacaví, El Monte y Til-Til. Para esto se cuenta con estanques de hipoclorito dispuestos en salas de cloración (**Figura 4.11**), bombas dosificadoras y cámara de contacto (**Figura 4.12**), en esta última el agua proveniente del tratamiento secundario debe estar a lo menos 30 minutos en contacto con el hipoclorito para garantizar el proceso de desinfección.



**Figura 4.11 A)** Sala de cloración y **B)** Estanque de hipoclorito de sodio, PTAS Til-Til.

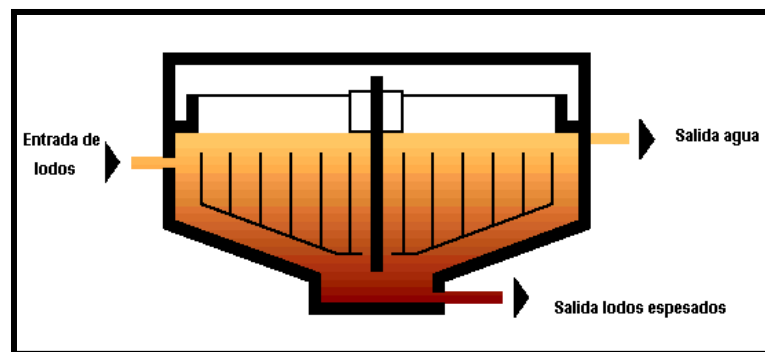


**Figura 4.12** Cámara de contacto PTAS Til-Til.

## 4.5 Tratamiento de Lodos

Este tratamiento es necesario para reducir los volúmenes de los lodos en exceso purgados desde el tratamiento biológico. Este proceso se lleva a cabo en tres etapas, espesamiento, acumulación y deshidratación de lodos (**Figura 4.14**).

- *Espesamiento de Lodos:* se consigue reducir el volumen de los lodos mediante la concentración o eliminación parcial de agua, para esto se utiliza un espesador gravitacional (**Figura 4.13**).



**Figura 4.13** Espesador Gravitacional.

- *Acumulación de Lodos:* Se almacenan los lodos provenientes del espesador en un estanque acumulador donde se airean y agitan (mezcla) para evitar los procesos de descomposición anóxica.
- *Deshidratación de Lodos:* Se centrifugan los lodos para extraer la mayor cantidad de agua de éstos, posteriormente se realiza un encalado para inhibir las bacterias. Esto se realiza en centrifugas y sistemas de encalado (tornillo aplicador de cal). Finalmente se almacenan los lodos encalados en contenedores que los llevan a rellenos sanitarios.



**Figura 4.14** A) Espesador, B) Estanque acumulador y C) Lodos deshidratados y encalados en contenedor de lodos, PTAS El Monte.

## 4.6 Sistemas de Control Bulking y Espumas

Como se mencionó en capítulos anteriores, el mecanismo utilizado para el control correctivo de estos fenómenos es la aplicación de productos químicos, hipoclorito de sodio para el control bulking y antiespumante para disolver las espumas.

Las aplicaciones de estos productos son dictadas por el área de calidad de aguas servidas de la empresa (ACAL), la cual previa evaluación de las condiciones del tratamiento biológico y de los parámetros de control de la planta, principalmente el control IVL, emite consignas de aplicación, las que son indicadas en las **Tabla 4.6 y 4.7**. La ejecución de estas corre por parte del personal de operaciones de cada planta.

PARÁMETRO	UNIDAD	18.01.2012
Dosis	(gCl/KgSSVLM)	3,5
Caudal aplicación	(L/h)	20
Caudal aforo	(ml/min)	---
Tiempo aplicación	(h/día)	5,6 Correspondiente a dos ciclos de 168 min
Horario de aplicación		00:00 AM - 09:00 AM
SBR bajo aplicación	---	Nº 1 y 2 (*)
Consumo hipoclorito	(L/día)	112
Duración Aplicación	(días)	5 (**)

(\*) Debe aplicarse durante los tiempos de aireación y mezcla  
(\*\*) Completados los días de aplicación deberá confirmarse su detención de acuerdo a resultados obtenidos

**Tabla 4.6** Formato de consignas de aplicación de hipoclorito de sodio para control bulking enviada por ACAL.

PARÁMETRO	UNIDAD	08.06.12
Caudal aplicación	(L/h)	42
Caudal aforo	(ml/min)	---
Tiempo aplicación	(h/aplicación)	1 Dos veces al día
Horario de aplicación	--	00.00 horas 15:00 horas (dos veces al día)
Consumo antiesp.	(L/día)	84
Duración Aplicación	(días)	14 (**)

(\*\*) Al concluir los 14 días de aplicación deberá confirmarse si se mantiene esta actividad.

**Tabla 4.7** Formato de consignas de aplicación de antiespumante para disolución de espumas enviada por ACAL.

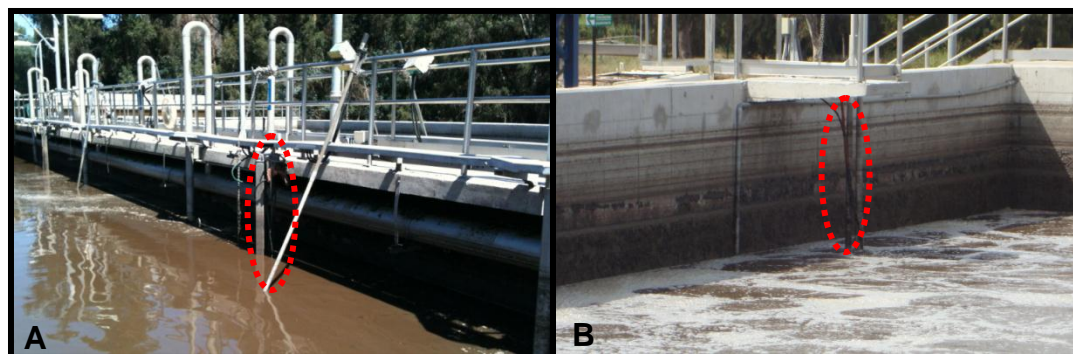
Las dosis de aplicación es elegida en base a las condiciones del proceso al momento en que se producen los fenómenos, estos valores han sido establecidos por ACAL de acuerdo a la experiencia obtenida con los eventos de bulking y espumas ocurridos anteriormente.

Para el hipoclorito de sodio se estableció una dosis que está dentro de un intervalo ideal de 2 a 6 gCl/KgSSV<sub>LM</sub>. Para el antiespumante se utiliza un caudal de 42 L/h.

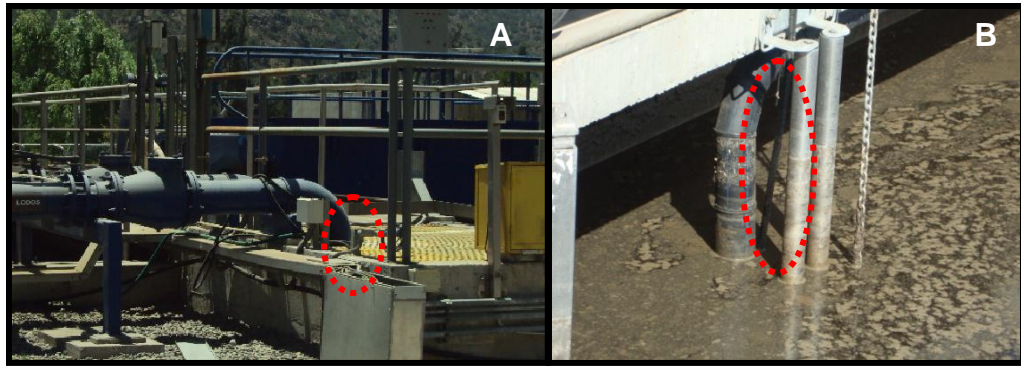
El tiempo de aplicación de hipoclorito debe ser por un mínimo de *una edad del lodo* (cantidad de días que esta el lodo en el reactor, 14 días) de esta forma todo el licor mezcla con sobre-proliferación de bacterias filamentosas estará en contacto con el bactericida. La aplicación se debe realizar preferentemente en la noche, debido a que en estas horas se presenta la menor concentración de materia orgánica disuelta, de esta forma el hipoclorito entra en contacto con las bacterias y no es consumido por dicha materia.

Debido a que la aplicación del antiespumante es realizada en forma manual y no automática, como en el caso del hipoclorito, en la práctica esta no puede ser por un tiempo prolongado, ya que el personal de operaciones debe cumplir con sus respectivas obligaciones, debido a esto se opta aplicar durante 1 hora dos veces por día.

El punto de aplicación del hipoclorito es directamente en el licor mezcla del reactor biológico en el caso de Curacaví, El Monte y Til-Til, y en la cámara de mezcla para San José de Maipo (**Figuras 4.15 y 4.16**).



**Figura 4.15** Puntos de aplicación de hipoclorito para el control del bulking **A)** SBR 1 Curacaví y **B)** SBR 1 El Monte.

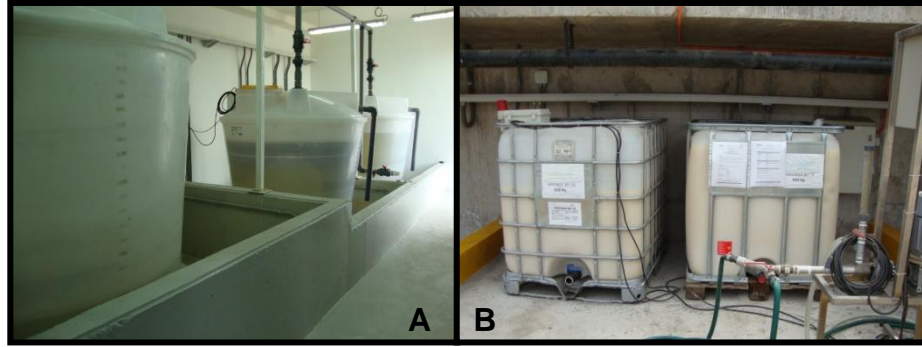


**Figura 4.16** Puntos de aplicación de hipoclorito para el control del bulking **A)** Cámara de mezcla San José de Maipo y **B)** SBR 1 Til-Til.

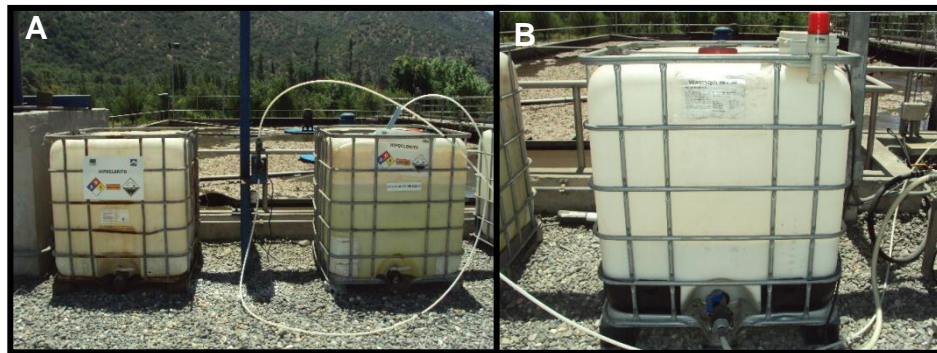
Los estanques de hipoclorito deben estar ubicados dentro de la sala de cloración o instalados bajo techo, protegidos del medio ambiente. Los estanques de antiespumante deben estar dispuestos bajo techo o a la sombra. Estos productos se deterioran al contacto con el sol, principalmente el hipoclorito ya que se descompone al entrar en contacto con fuentes de calor de cualquier tipo. La disposición de los estanques de ambos productos químicos en las plantas estudiadas están ilustradas de la **Figura 4.17** a **4.20**.



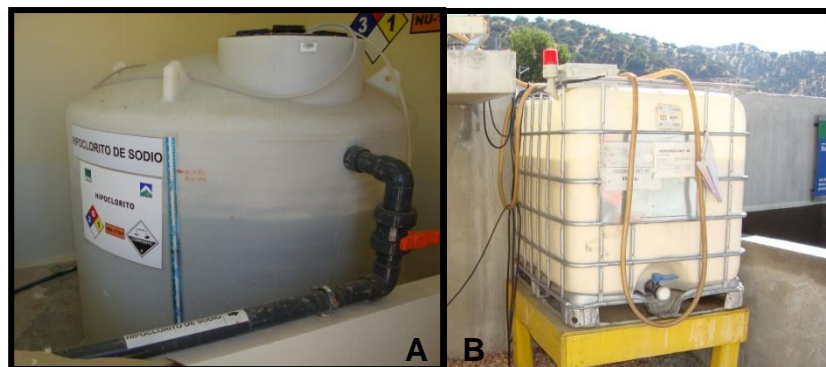
**Figura 4.17** **A)** Estanques de hipoclorito en sala de cloración y **B)** Estanques de antiespumante bajo techo, PTAS Curacaví.



**Figura 4.18 A)** Estanques de hipoclorito en sala de cloración **B)** Estanques de antiespumante bajo techo, PTAS El Monte.



**Figura 4.19 A)** Estanques de hipoclorito al aire libre **B)** Estanque de antiespumante al aire libre, PTAS San José de Maipo.



**Figura 4.20 A)** Estanques de hipoclorito en sala de cloración **B)** Estanque de antiespumante al aire libre, PTAS Til-Til.



## 4.7 Controles Normativos y de Proceso

Las plantas se rigen por controles de proceso y normativos, los cuales establecen límites para ciertos parámetros considerados de importancia, que se deben cumplir en la totalidad de las depuradoras, con el fin de asegurar la efectividad de sus tratamientos [8].

### 4.7.1 Límites Normativos

El cumplimiento de estos límites, identificados en la **Tabla 4.8**, son fiscalizados por el laboratorio certificado ANAM, quién también extrae y analiza las muestras.

**Tabla 4.8** Límites normativos, Descarga de aguas residuales.

Parámetro	Rango	Unidades
DBO	< 35	mg/L
SST	<80	mg/L
N	<50	mg/L
P	<10	mg/L
Aceites y Grasas	<20	mg/L
Coliformes Fecales	<1000	NMP/100mL

### 4.7.2 Límites de Proceso

El cumplimiento de estos límites, identificados en las **Tablas 4.9 a 4.15**, son fiscalizados por ACAL, personal de laboratorio de control proceso de aguas servidas de Aguas Andinas S.A., operaciones y ANAM se encargan de la toma de muestras, mientras que el análisis es desarrollado por el laboratorio de control de procesos.

**Tabla 4.9** Límites control proceso, Afluente.

Parámetro	Rango	Unidades
DQO	250 - 650	mg/L
SST	125 - 300	mg/L
SSV/SST	70 - 80	%
Conductividad	<2000	µs/cm

**Tabla 4.10** Límites control proceso, Lodos activados.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidades</b>
<b>SSTLM (licor mezcla)</b>	1200 – 4500	mg/L
<b>OD (setpoint)</b>	1,5 – 2,5	mg/L
<b>SSV/SST</b>	0,5 – 0,8	%
<b>pH</b>	6,5 – 7,5	u
<b>V30</b>	>100	mL/L
<b>IVL</b>	<250	mL/g
<b>Bacterias Filamentosas</b>	<4	Grado de abundancia (1-6)

**Tabla 4.11** Límites control proceso, Efluente.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidades</b>
<b>Turbiedad</b>	<50	NTU
<b>pH</b>	6,5 – 8,0	u
<b>Cloro Residual</b>	0,1 – 0,6	mg/L

**Tabla 4.12** Límites control proceso, Espesador de lodos biológicos.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidades</b>
<b>Manto de Lodos</b>	0,4 – 2,0 (*)	M
<b>pH lodo</b>	>6,5	u
<b>ST (concentración)</b>	1,0 – 2,5	%
<b>ORP</b>	> -200	mV

**Tabla 4.13** Límites control proceso, Acumulador de lodos biológicos.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidades</b>
Nivel	<3,0	m
ORP	>0	mV
pH	7,0-8,0	U
ST	1,0-2,5	%
SV/ST	60-75	%

**Tabla 4.14** Límites control proceso, Deshidratación de lodos biológicos.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidades</b>
ST polímero	2,0-3,0	g/L
ST lodos	>16	%
Centrado	<600	mg/L

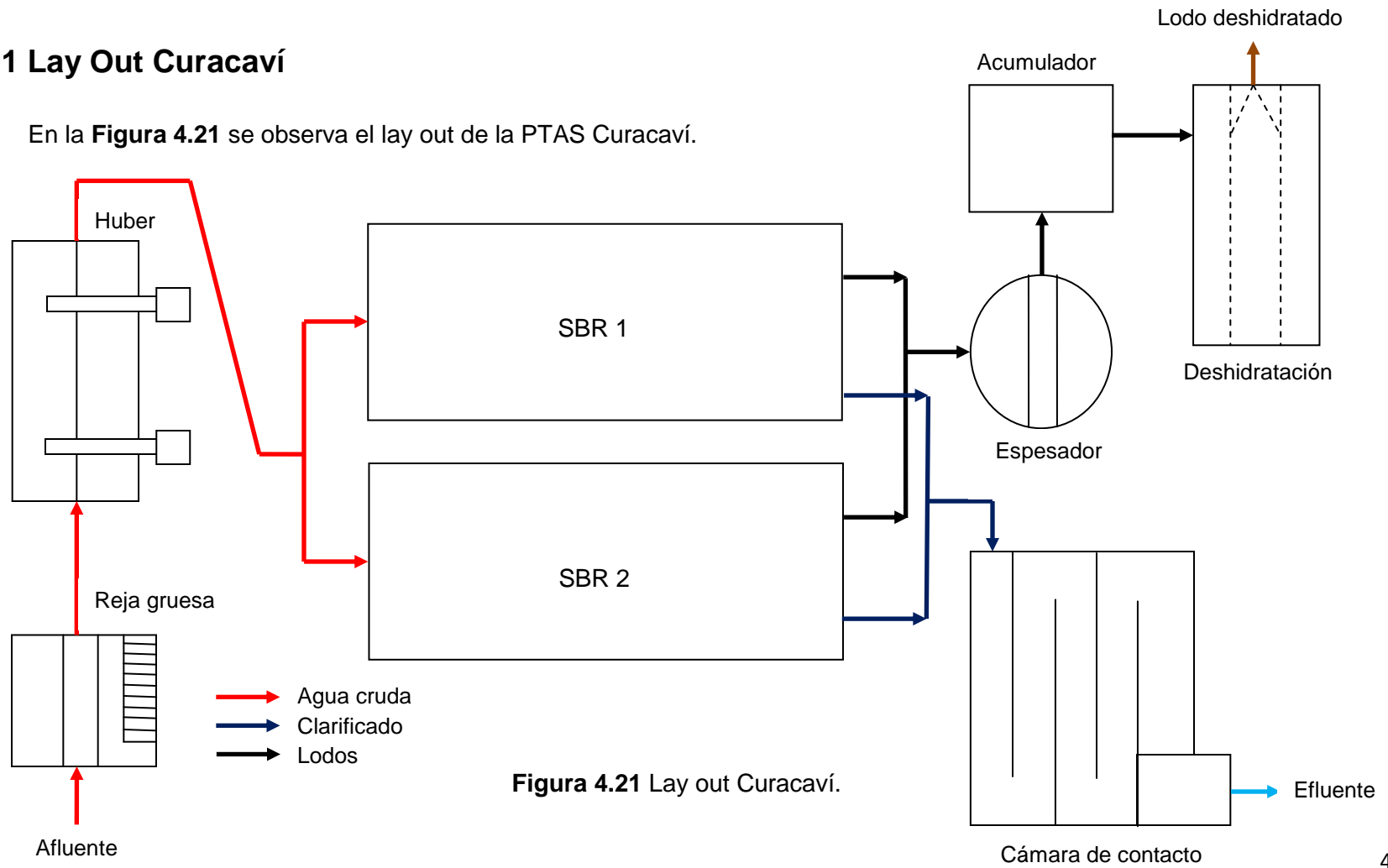
**Tabla 4.15** Límites control proceso, Encalado de lodos biológicos.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidades</b>
ST lodos	>20	%
pH	>12,0	u

## 4.8 Lay Out

### 4.8.1 Lay Out Curacaví

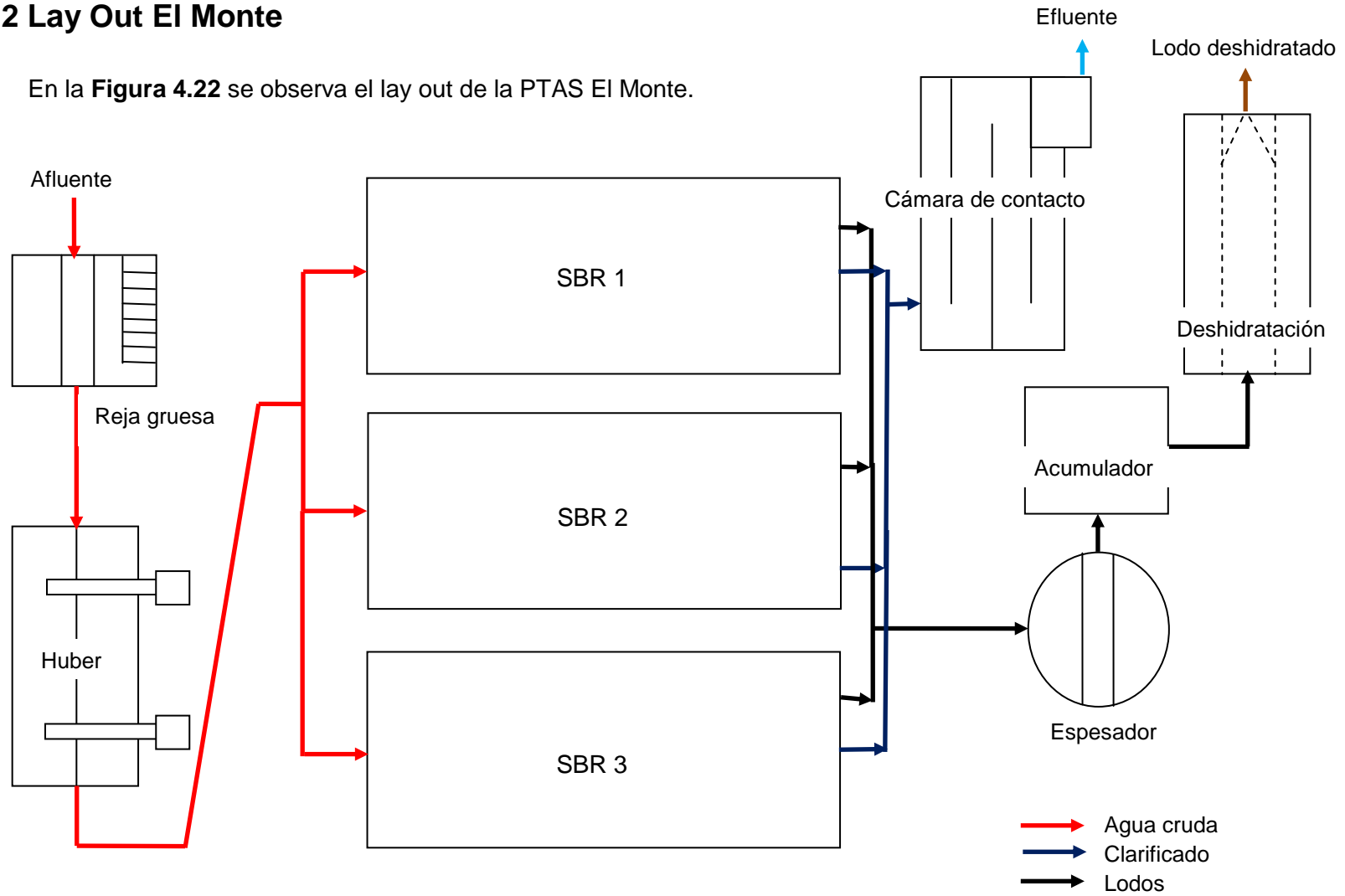
En la **Figura 4.21** se observa el lay out de la PTAS Curacaví.



**Figura 4.21** Lay out Curacaví.

## 4.8.2 Lay Out El Monte

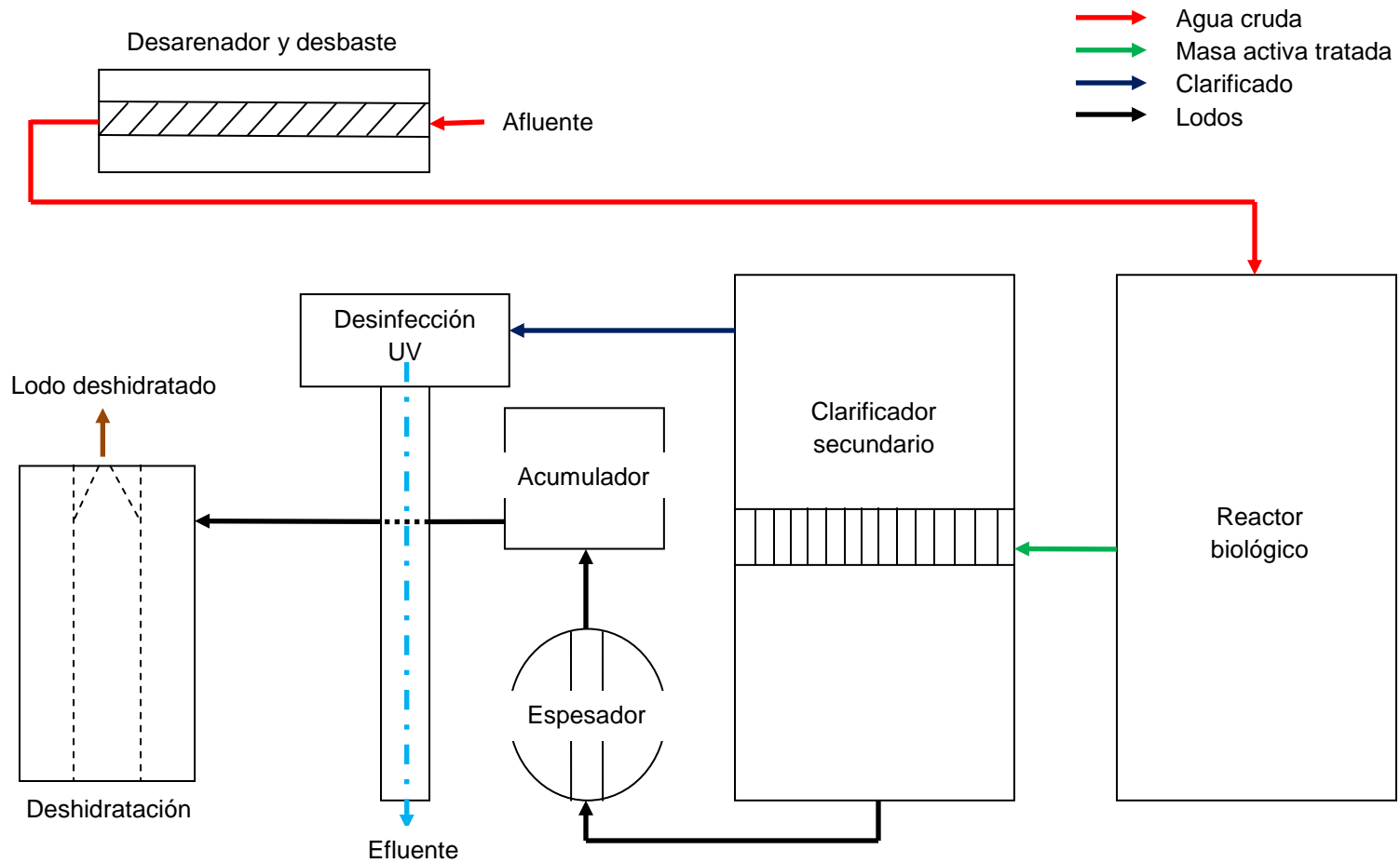
En la **Figura 4.22** se observa el lay out de la PTAS El Monte.



**Figura 4.22** Lay out El Monte.

### 4.8.3 Lay Out San José de Maipo

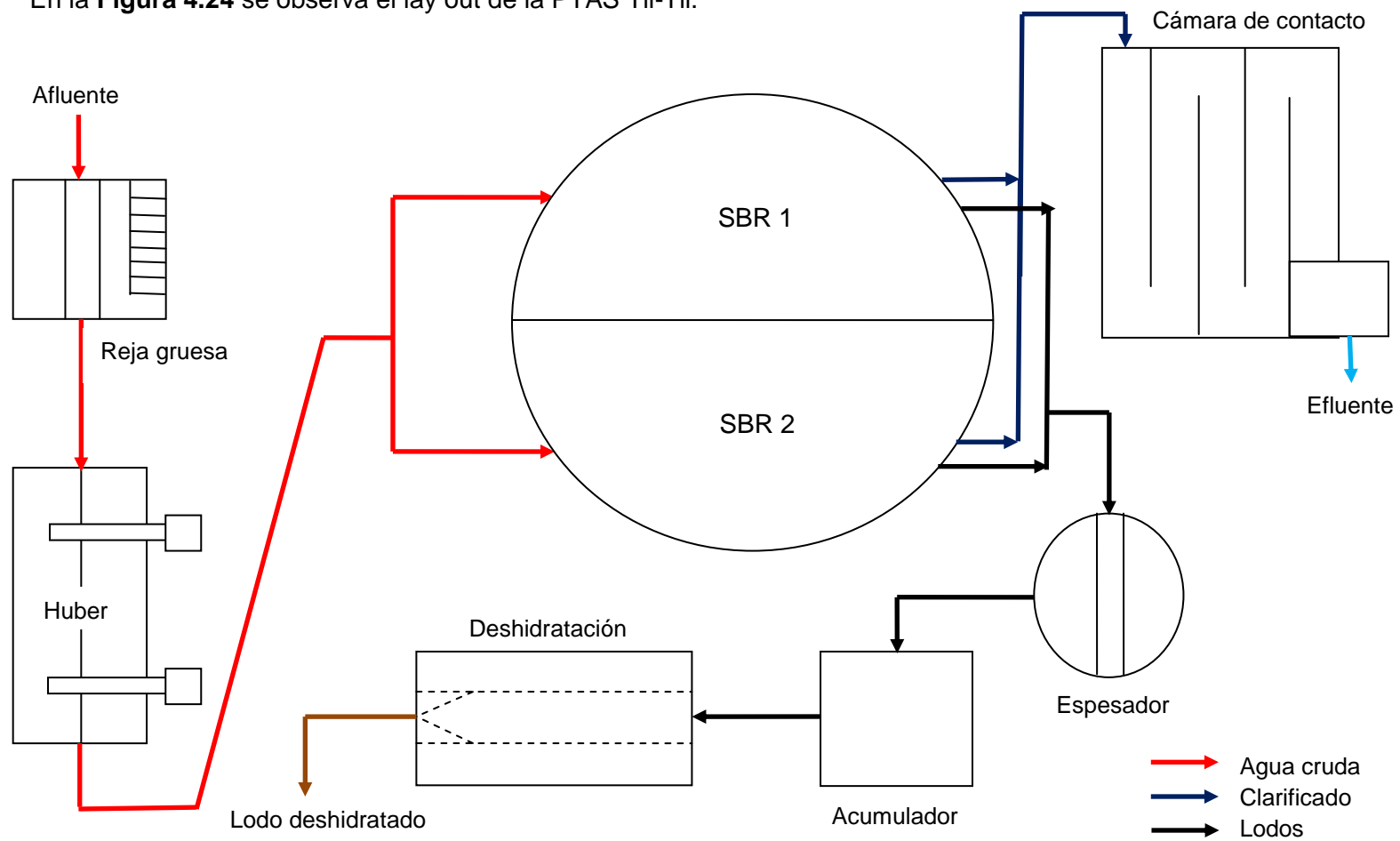
En la **Figura 4.23** se observa el lay out de la PTAS San José de Maipo.



**Figura 4.23** Lay out San José de Maipo.

#### 4.8.4 Lay Out Til-Til

En la **Figura 4.24** se observa el lay out de la PTAS Til-Til.



**Figura 4.24** Lay out Til-Til.

## 5 ANTECEDENTES 2011

Para poder verificar si los métodos para corregir y prevenir los fenómenos de bulking y espumas recomendados en este trabajo son factibles y proponen una mejora real, se debe establecer una base para comparar los datos de consumos de productos utilizados con los métodos de control anteriormente usados, versus los gastos generados durante el seguimiento, es por esto que se decidió realizar un análisis previo a los eventos de bulking y espumas ocurridos el año 2011.

### 5.1 Eventos de Bulking y Espumas

En las plantas depuradoras el bulking filamentoso es evidenciado con un IVL mayor a 200 mL/g, sin embargo el área de calidad de aguas servidas de Aguas Andinas S.A estableció un límite interno de 250 mL/g.

De acuerdo a los antecedentes recopilados desde la base de datos "Datos Planta" generada por el personal de ACAL, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Curacaví:** Durante el año 2011 esta planta se vio particularmente afectada por eventos de bulking filamentoso, presentando este problema en ambos reactores durante casi el 50% de sus días operativos (**Tabla 5.1**).

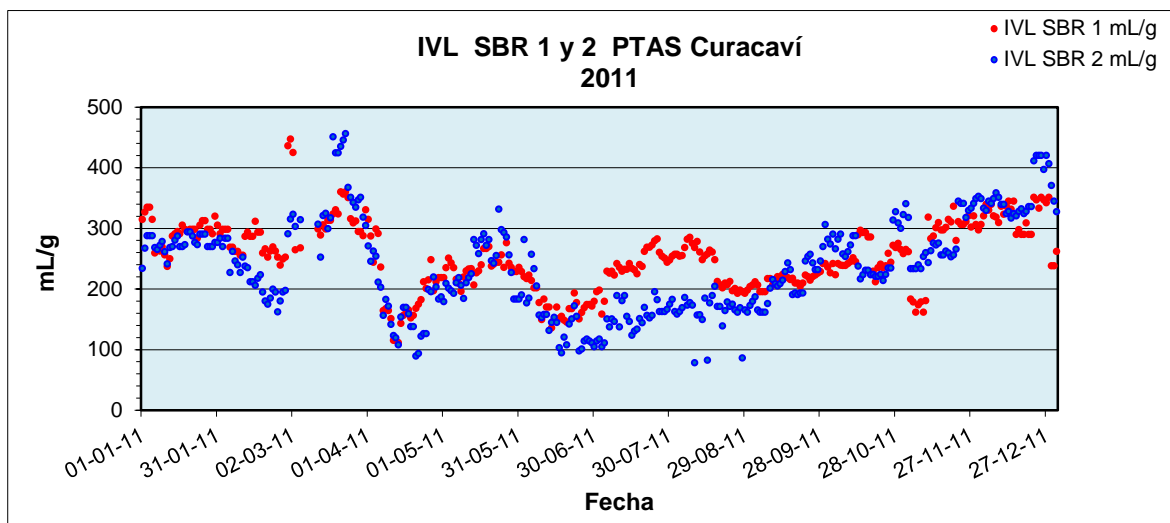
**Tabla 5.1** Cantidad de días con bulking filamentoso, SBR 1 y 2 PTAS Curacaví 2011.

Reactor Biológico	Días Operativos	Total días con IVL > 250 mL/g, 2011	Días con IVL > 250 mL/g, Otoño-Invierno 2011
SBR 1	365	179	46
SBR 2	365	154	29



Los valores indicados en la **Tabla 5.1** representan en su mayoría a "eventos de bulking" (aumentos prolongados de IVL), y no a *peaks* de IVL aislados, los cuales se suscitan mayormente por mal procedimiento en la toma del análisis V30.

En la **Figura 5.1** se puede observar el evidente aumento del valor de IVL a lo largo de todo el año en las dos unidades biológicas, lo que se traduce en eventos de bulking filamentoso persistentes sobre todo en los meses de calor. De acuerdo a esto último, en esta planta no se cumple la característica de la estacionalidad, sin embargo resulta particularmente significativo el análisis de esta, ya que durante el periodo 2011 se generaron bastantes problemas de abultamiento de lodo y generación de espumas en comparación con años anteriores, cuyas causas pueden ser variaciones en las características del agua tratada y/o problemas internos de la planta. Además, debido a su ubicación geográfica, en términos de logística, resulta más fácil su seguimiento.



**Figura 5.1** Representación del IVL año 2011, PTAS Curacaví.

Con respecto al fenómeno de espumas, se puede afirmar que se presentó de forma recurrente durante el periodo 2011, esta aseveración es de carácter cualitativa debido a que sólo se pueden realizar inspecciones visuales de la presencia y características del problema. Estas observaciones fueron realizadas por el personal de ACAL bajo actividades correspondientes a las *visitas técnicas* de las plantas.

Para solucionar estos problemas se enviaron dos consignas de aplicación (**Tabla 5.2**), que sólo corresponden a la inyección de hipoclorito para el control bulking, ya que hasta este periodo no existían instalaciones para el uso de antiespumante.

PARÁMETRO	UNIDAD	26.03.11	24.05.11
Dosis	(gCl/KgSSVLM)	4,8	4,5
Caudal aplicación	(L/h)	24	24
Caudal aforo	(ml/min)	---	---
Tiempo aplicación	(h/día)	9	12
Horario de aplicación		00:00 AM - 09:00 AM	00:00 AM - 09:00 AM
SBR bajo aplicación	---	Nº 1 y 2	Nº 1 y 2 (*)
Consumo hipoclorito	(L/día)	216	288
Duración Aplicación	(días)	21	21

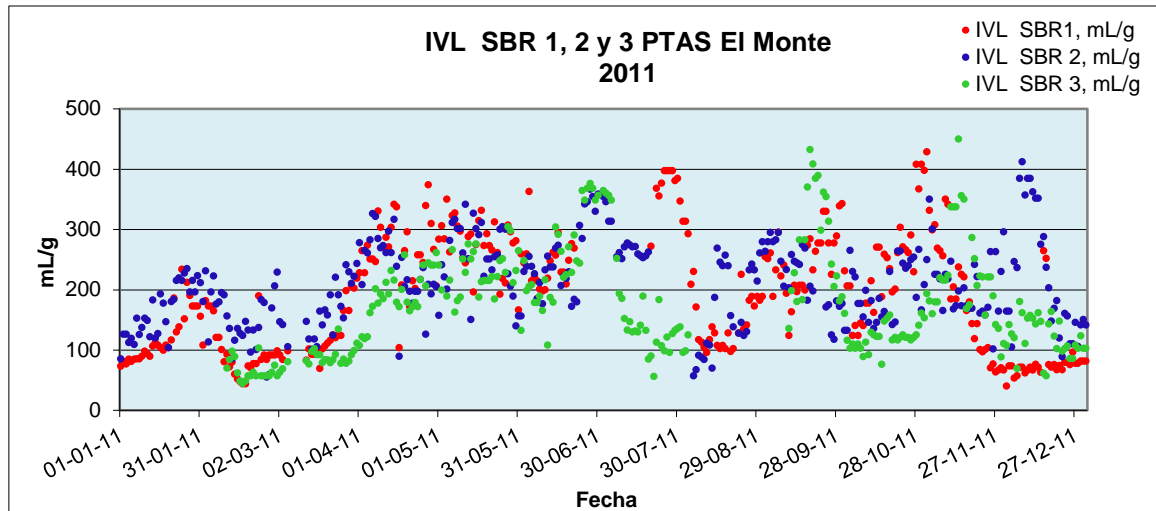
**Tabla 5.2** Consignas para el control bulking enviadas por ACAL, PTAS Curacaví 2011.

**El Monte:** Si bien en esta planta no se presentan numerosos aumentos de IVL, estos corresponden mayormente a eventos de bulking, los que se prolongaron hasta por 64 días como es el caso del reactor tipo SBR 1 en periodo de otoño-invierno. La cantidad de días que fue afectado cada reactor se detalla en la **Tabla 5.3**:

**Tabla 5.3** Cantidad de días con bulking filamentoso, SBR 1, 2 y 3 PTAS El Monte 2011.

Reactor Biológico	Días Operativos	Total días con IVL > 250 mL/g, 2011	Días con IVL > 250 mL/g, Otoño-Invierno 2011
<b>SBR 1</b>	337	108	74
<b>SBR 2</b>	345	95	75
<b>SBR 3</b>	288	48	35

A continuación, en la **Figura 5.2** se puede observar que existe un aumento considerable en los valores de IVL durante los meses de otoño e invierno, comprobándose claramente el fenómeno de la estacionalidad. También podemos notar que los *peaks* de cada reactor se producen cuando existe la baja (sacar de funcionamiento) de otra unidad biológica.



**Figura 5.2** Representación del IVL año 2011, PTAS El Monte.

Durante el periodo 2011 la proliferación de espumas se produjo de forma recurrente durante los meses de bajas temperaturas, esto según lo evidenciado en los reportes de las visitas técnicas.

Para poder corregir ambos fenómenos se enviaron seis consignas de aplicación de productos químicos, algunas de estas se observan en las **Tabla 5.4** y **5.5**.

PARÁMETRO	UNIDAD	07.07.11	16.07.11	20.09.11	27.10.11
Dosis	(gCl/KgSSVLM)	5,5	2,0	3,0	3,0
Caudal aplicación	(L/h)	60	15	15	15
Caudal aforo	(ml/min)	---	---	---	---
Tiempo aplicación	(h/día)	3	-- Dos veces al día	2,8 Tres ciclos al día (*)	5,9 Dos ciclos completos de aireación al día (*)
Horario de aplicación		00:00 AM – 09:00 AM	<b>Paralela</b> a aplicación de antiespumante	<b>Paralela</b> a aplicación de antiespumante	<b>Paralela</b> a aplicación de antiespumante
SBR bajo aplicación	---	Nº 3 (*)	Nº 3 (*)	Nº 2	Nº 2
Consumo hipoclorito	(L/día)	200	60	126	89
Duración Aplicación	(días)	14	14	14 (**)	14 (**)

(\*) Debe aplicarse durante los tiempos de aireación y mezcla. Uno de los ciclos a aplicar es durante las 00:00 y las 06:00. El otro ciclo a aplicar es entre las 15:00 y las 18:00.  
(\*\*) Al concluir los 10 días de aplicación deberá confirmarse si se mantiene esta actividad.

**Tabla 5.4** Consignas para el control bulking enviadas por ACAL, PTAS El Monte 2011.

PARÁMETRO	UNIDAD	07.07.11	16.07.11	20.09.11	27.10.11
Caudal aplicación	(L/h)	42	42	42	42
Caudal aforo	(ml/min)	---	---	---	---
Tiempo aplicación	(h/aplicación)	1	1 Dos veces al día	1 Dos veces al día	1 Dos veces al día
	días	7	7	14	10
Horario de aplicación	--	00:00	00.00 horas 15:00 horas (dos veces al día)	00.00 horas 15:00 horas (dos veces al día)	00.00 horas 15:00 horas (dos veces al día)
Consumo antiesp.	(L/día)	42	84	84	84
Duración Aplicación	(días)			14 (**)	14 (**)

**(\*\*) Al concluir los 10 días de aplicación deberá confirmarse si se mantiene esta actividad.**

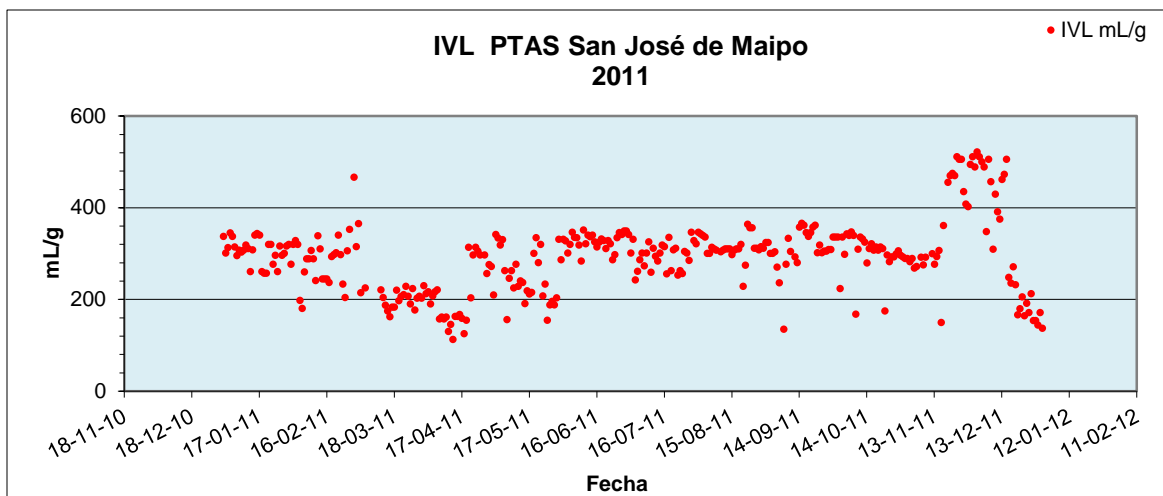
**Tabla 5.5** Consignas para el control de espumas enviadas por ACAL, PTAS El Monte 2011.

**San José de Maipo:** De todas las plantas estudiadas esta es la que presenta mayores problemas de abultamiento de lodo (ver **Tabla 5.6**) y generación de espumas, llegando a estar el 70,4 % del total de los días operativos con IVL sobre 250 mL/g y alcanzando *peaks* de hasta 522 mL/g, además presenta espumas superficiales el 100% de los días operados.

**Tabla 5.6** Cantidad de días con bulking filamentoso, Reactor biológico SJM 2011.

Reactor Biológico	Días Operativos	Total días con IVL > 250 mL/g, 2011	Días con IVL > 250 mL/g, Otoño-Invierno 2011
Reactor continuo	365	257	127

En la **Figura 5.3** se muestra claramente los prolongados aumentos del valor de IVL, que además de evidenciar la estacionalidad, demuestra la deficiencia del funcionamiento del tratamiento biológico.



**Figura 5.3** Representación del IVL año 2011, PTAS San José de Maipo.

Los equipos para el control bulking fueron instalados a fines del año 2011, por lo que se alcanzaron a generar sólo dos consignas de aplicación de hipoclorito (**Tabla 5.7**), las que no fueron efectivas de acuerdo a la reacción tardía ante el problema. Hasta este periodo no existían instalaciones para el control de espumas.

PARÁMETRO	UNIDAD	15.09.11	18.11.11
Dosis	(gCl/KgSSVLM)	4,0	4,0
Caudal aplicación	(L/h)	<b>4,7 (75%)</b>	<b>4,7 (75%)</b>
Caudal aforo	(mL/min)	78 (75%)	78 (75%)
Tiempo aplicación	(h/día)	24	24
Horario de aplicación	---	---	---
Reactor bajo aplicación	---	---	---
Consumo hipoclorito	(L/día)	113	113
Duración Aplicación	(días)	14 (*)	14 (*)

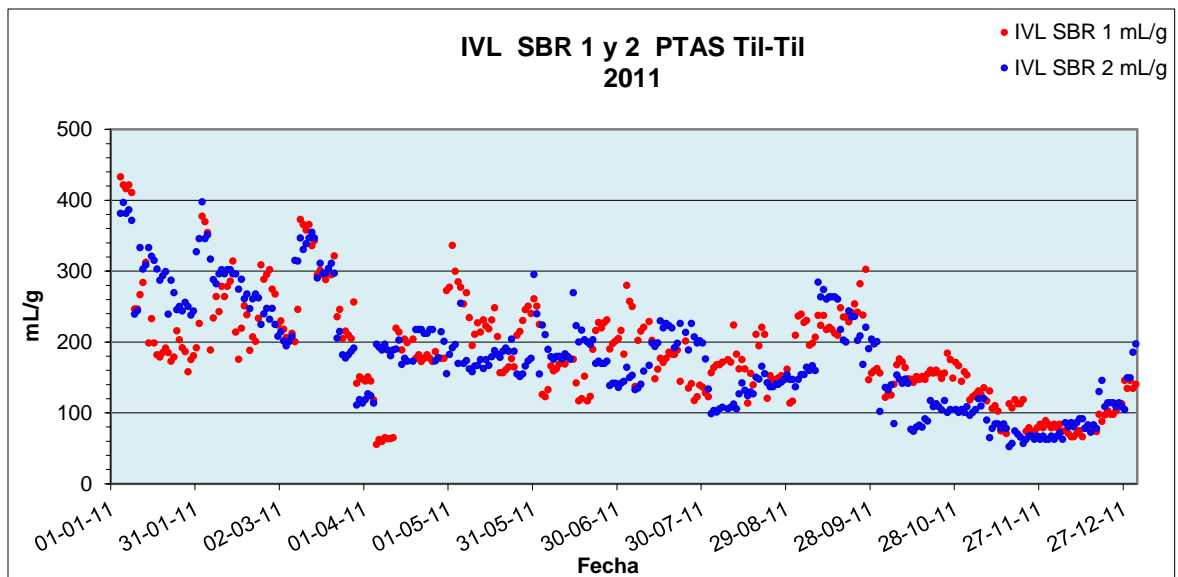
**Tabla 5.7** Consignas para el control bulking enviadas por ACAL, PTAS SJM 2011.

**Til-Til:** Los aumentos de IVL durante el 2011 no fueron recurrentes con respecto a lo evidenciado en otras plantas (**Tabla 5.8**), sin embargo son muy violentos debido al alto ingreso de RILes, llegando a *peaks* de hasta 766 mL/g. En cuanto a la formación de espumas, estas fueron constantes durante toda las estaciones otoño-invierno.

**Tabla 5.8** Cantidad de días con bulking filamentoso, SBR 1 y 2 Til-Til 2011.

Reactor Biológico	Días Operativos	Total días con IVL > 250 mL/g, 2011	Días con IVL > 250 mL/g, Otoño-Invierno 2011
SBR 1	365	57	15
SBR 2	365	68	12

En la **Figura 5.4** se evidencian los *peaks* del IVL comentados anteriormente, también se observa, por la dispersión de los datos, que las subidas de los IVL corresponden a causas puntuales, como el ingreso de RILes.



**Figura 5.4** Representación del IVL año 2011, PTAS Til-Til.

Para corregir las espumas constantes y los eventuales problemas de bulking se entregaron consignas de aplicación de productos químicos. En el caso del antiespumante se entregaron 3 consignas extendidas, es decir que por orden de ACAL se extendieron las aplicaciones por un tiempo mayor al indicado, para el control bulking sólo se generaron 2 (Tablas 5.9 y 5.10).

PARÁMETRO	UNIDAD	08.04.11	12.10.11
Dosis	(gCl/KgSSVLM)	6	2
Caudal aplicación	(L/h)	25 (valor promedio)	25 (valor promedio)
Caudal aforo	(ml/min) / (*)	---	---
Tiempo aplicación	(min/día)	200	60
Horario de aplicación		desde las 00:00 (*)	desde las 00:00 (*)
Consumo hipoclorito	(L/día)	168	50
Duración Aplicación	(días)	7 (a evaluar contra resultados)	14 (a evaluar contra resultados)

(\*) Esto significa que se debe aplicar en ciclo de aire o mezcla, desde las 00:00 horas, por lo cual con un poco más que un ciclo por reactor se completaría la aplicación diaria para control bulking. Esta aplicación debe ser simultánea a la aplicación de antiespumante.

**Tabla 5.9** Consignas para el control bulking enviadas por ACAL, PTAS Til-Til 2011.

PARÁMETRO	UNIDAD	26.03.11	06.04.11	18.05.11
Caudal de aforo	Ml/min	80	700	700
Caudal aplicación	(L/h)	4,8	42	42
	(h/día)	8	1	43 minutos
Tiempo aplicación	días	6 (a evaluar contra resultados)	6	10
Horario de aplicación	--	Desde las 00:00	00:00	00:00
Consumo antiesp.	(L/día)	38,4	42	30

**Tabla 5.10** Consignas para el control de espumas enviadas por ACAL, PTAS Til-Til 2011.

## 5.2 Causas y Efectos de los Eventos de Bulking y Espumas

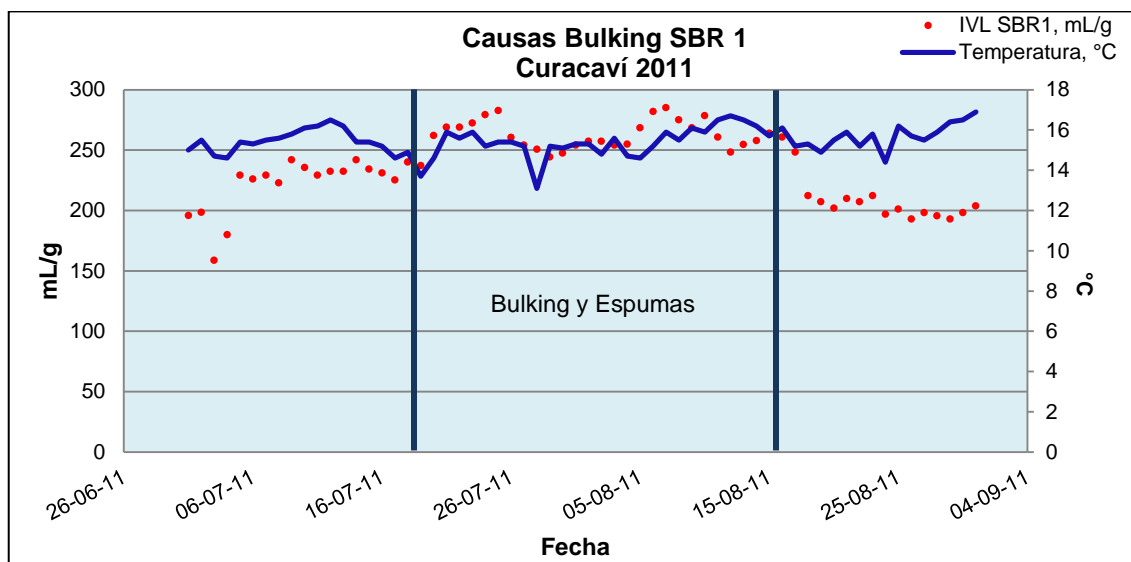
Para poder describir de manera práctica los posibles orígenes de los fenómenos ocurridos durante el periodo 2011, se eligió un evento de bulking y espumas puntual, y en base a esto se analizaron las gráficas de los parámetros de control proceso, que nos ayudan a dilucidar de forma fehaciente la causa real.

### Curacaví:

Se escogió el evento ocurrido en el reactor tipo SBR N° 1, entre los días 20.07.11 y 16.08.11 (28 días).

En la **Figura 5.5**, se observa que durante el periodo de bulking y espumas escogido, existe una baja de la temperatura que se mantiene constante durante los primeros días del problema, obteniendo un *peak* de 13,1°C, lo que sumado al excesivo aumento en la concentración de grasas y aceites en el efluente que para el día 12.07.11 tenía un valor de 23 mg/L y para el día 12.08.11 marcó 71 mg/L (alrededor del 300% mayor), produjo un aumento del valor de IVL el cual se mantuvo constante por casi un mes.

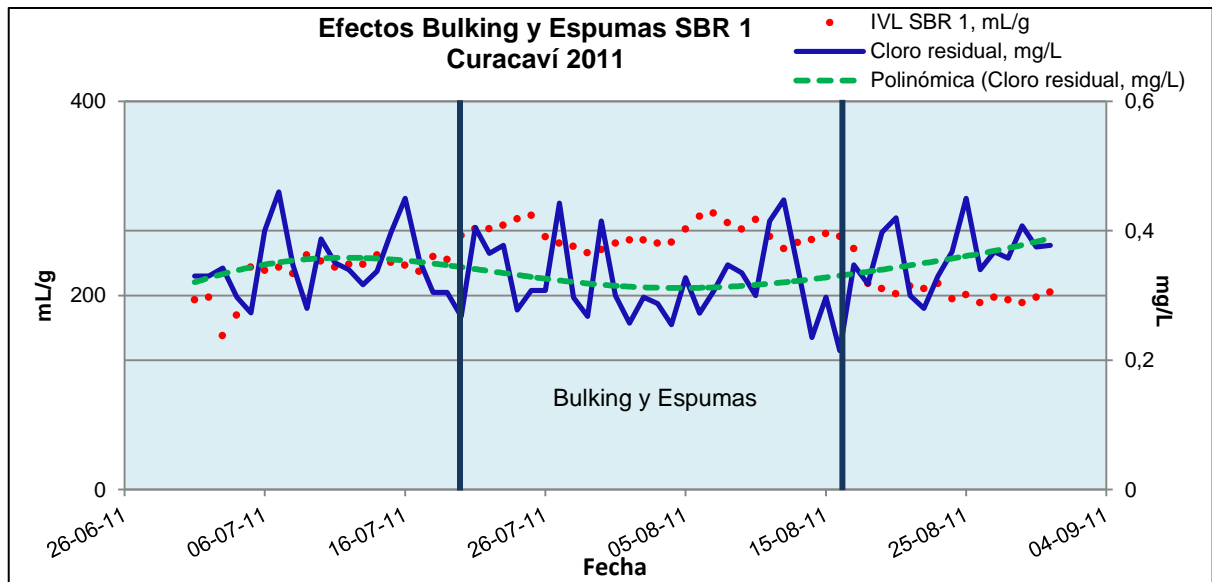
Debemos recordar que las bajas temperaturas, sumadas a una alta concentración de grasas y aceites, son el ambiente ideal para la sobre-proliferación de bacterias filamentosas.



**Figura 5.5** Causas bulking y espumas SBR 1, PTAS Curacaví 2011.



El parámetro que se vio más perjudicado con los eventos generados fue el cloro residual, la **Figura 5.6** muestra que este se mantuvo bajo cuando los valores de IVL aumentaron, lo que significa que el efluente de la planta tenía más contaminantes los que a su vez consumieron mayor cantidad de desinfectante, provocando que la concentración de cloro remanente fuese menor.



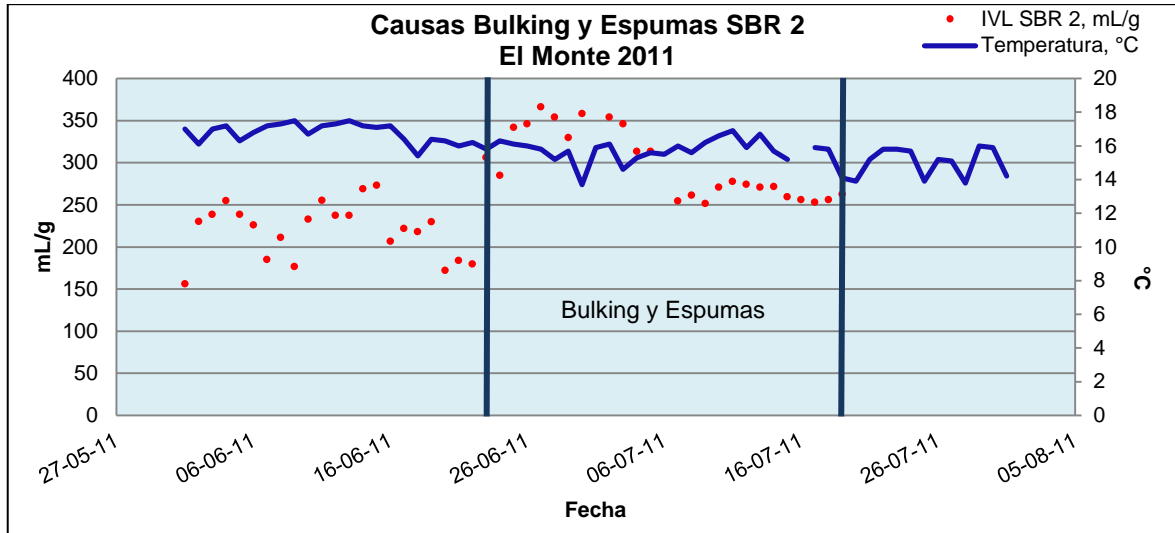
**Figura 5.6** Efectos bulking y espumas SBR 1, PTAS Curacaví 2011.

#### El Monte:

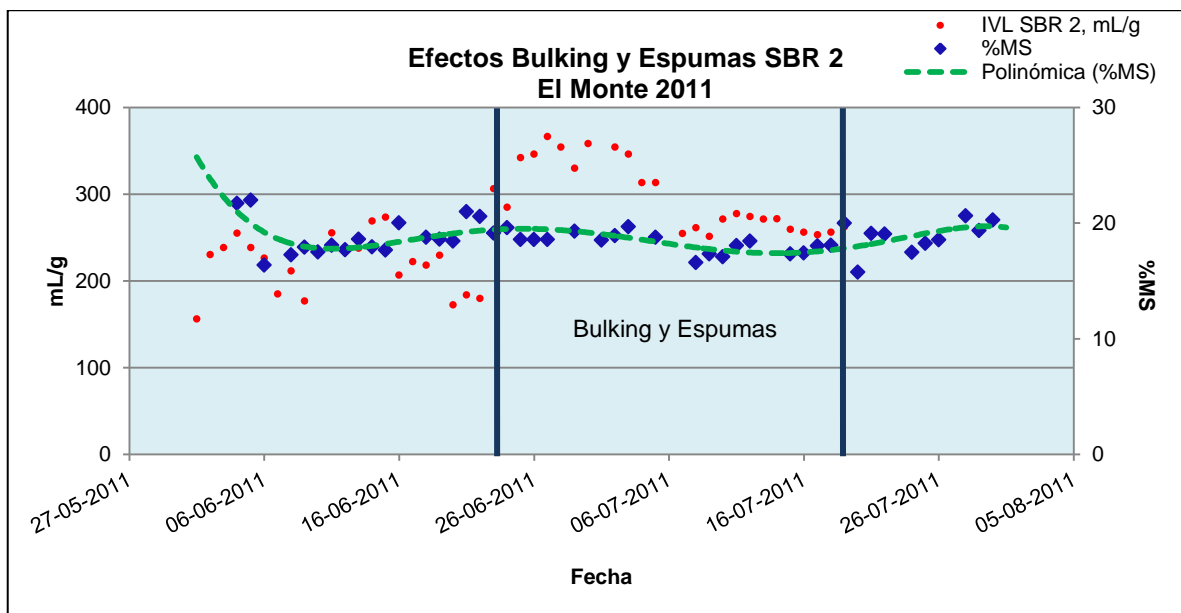
Se escogió el evento ocurrido en el reactor tipo SBR N° 2, entre los días 23.06.11 y 19.07.11 (27 días).

De acuerdo a lo evidenciado en la **Figura 5.7**, nuevamente la causa del bulking y las espumas son las bajas temperaturas, ya que en la primera etapa de evolución de los fenómenos, se registran los menores valores con un *peak* de 14°C, además existe un valor medio y constante de grasas y aceites en el efluente que marca 37 mg/L y 35 mg/L para los días 14.06.11 y 19.07.11 respectivamente, lo que mejora aun más el ambiente para las bacterias filamentosas. Nótese que en la etapa final se registra un aumento de la

temperatura y con esto una baja en el valor de IVL, quedando clara la relación inversamente proporcional entre ambas variables.



**Figura 5.7** Causas bulking y espumas SBR 2, PTAS EI Monte 2011.



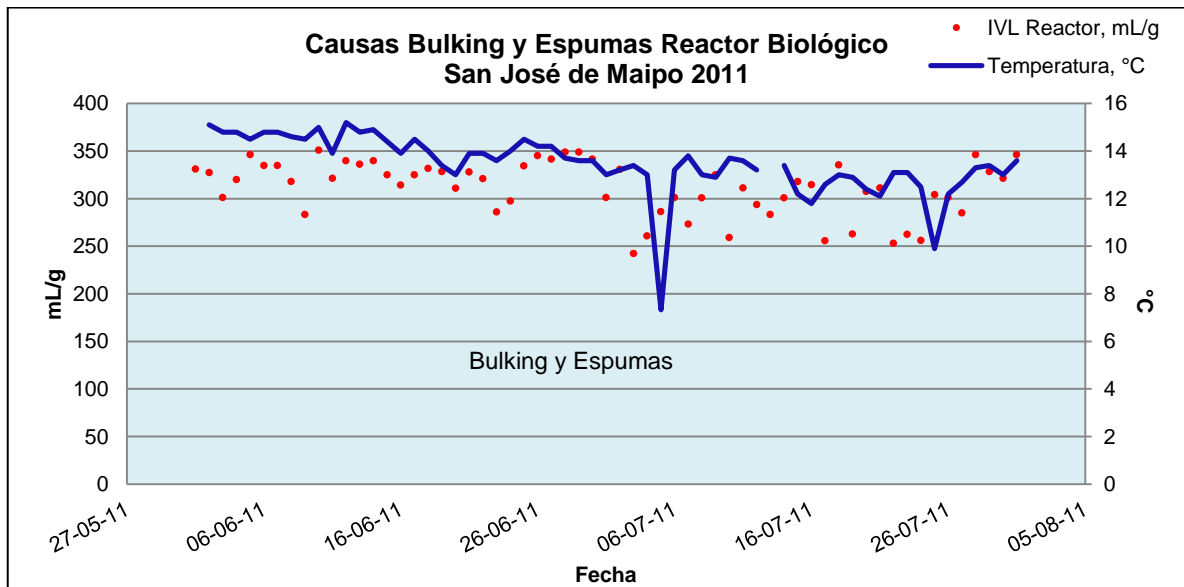
**Figura 5.8** Efectos bulking y espumas SBR 2, PTAS EI Monte 2011.

En cuanto a los efectos se refiere, el parámetro que se vio más afectado con el episodio de bulking y espumas fue la sequedad del lodo deshidratado, ya que al observar la **Figura 5.8** se aprecia que el porcentaje de materia seca (%MS) disminuye, en cuanto el IVL aumenta, esto significa que el lodo tiene mayor cantidad de agua por ende la deshidratación resulta menos eficiente (debido a que el lodo es más difícil de deshidratar cuando presenta bulking).

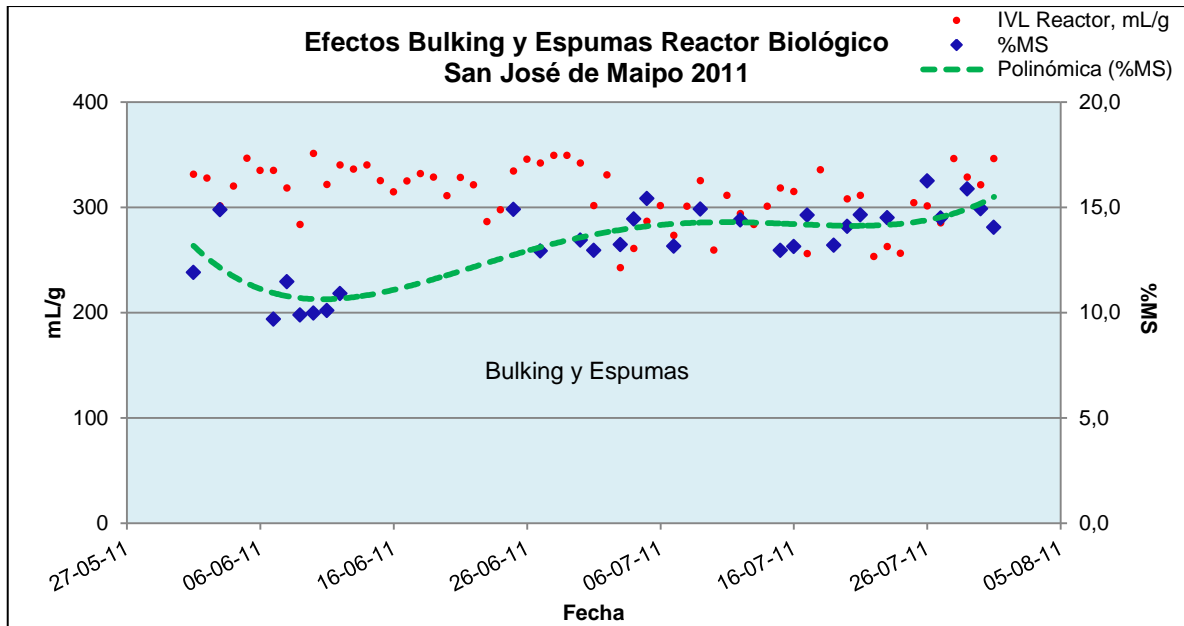
### San José de Maipo:

En este caso, los eventos de bulking y espumas se mantuvieron constantes durante los meses de otoño e invierno, siendo así, se eligió un periodo de 2 meses, que comienza el 01.06.11 y termina el 31.07.2011.

En la **Figura 5.9** podemos observar que existe un descenso en la temperatura que afecta el valor del IVL, sobre todo a fines de Junio donde se aprecia una baja constante de esta, registrándose temperaturas de hasta 7°C el día 05.07.11, y para el IVL *peaks* de hasta 349 mL/g el día 28.06.11. Nuevamente existe un cambio brusco en la concentración de grasas y aceites de 34 mg/L el día 09.06.11 a 60 mg/L el día 15.07.11, que beneficia el crecimiento de filamentos y formación de espumas.



**Figura 5.9** Causas bulking y espumas Reactor Biológico, PTAS San José de Maipo 2011.



**Figura 5.10** Efectos bulking y espumas Reactor Biológico, PTAS San José de Maipo 2011.

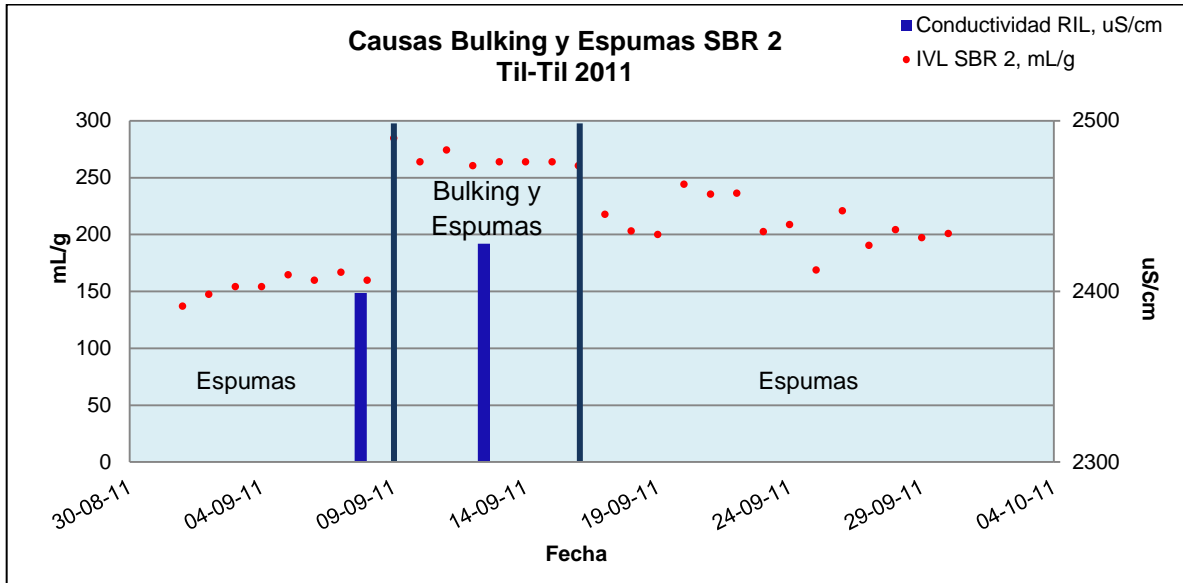
En esta planta la sequedad del lodo se ve particularmente afectada con el aumento del IVL, llegando a 9,7% de materia seca en el lodo deshidratado versus 335 mL/g respectivamente (**Figura 5.10**), además podemos observar que cuando mejora la sedimentabilidad también aumenta la sequedad logrando acercarse al ideal de 20%MS. La mala deshidratación es un factor constante durante todo el periodo bajo análisis así como también los altos valores de IVL.

**Til-Til:**

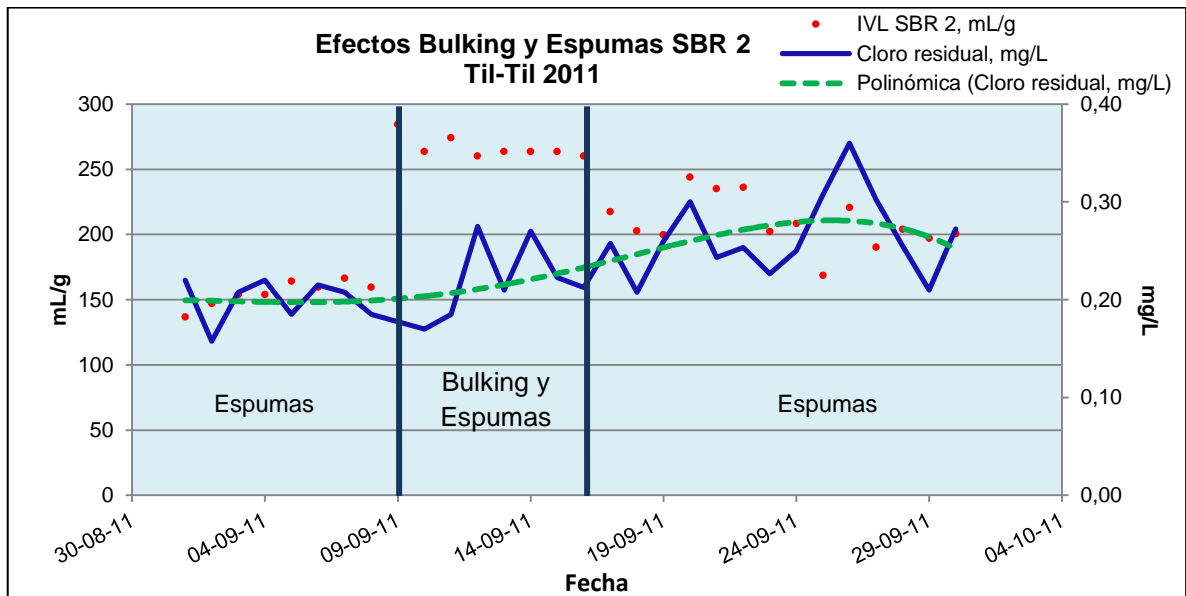
Se escogió el evento ocurrido en el reactor tipo SBR N° 2, entre los días 09.09.11 y 16.09.11 (8 días).

Los eventos de bulking filamentoso ocurridos en esta planta son bastante más cortos y violentos. En la **Figura 5.11** se observa que se produce un alza inesperada del IVL, producida por el ingreso de un RIL de alta conductividad ocurrido el día anterior, esta alza se mantiene debido a otro RIL que entró 2 días después. Se aprecia también que cuando no se presenta esta eventualidad los valores de IVL retornan a la zona de normalidad bajo los 250 mL/g. El estrés que se produce en las bacterias con el ingreso de químicos a la unidad

biológica, produce la proliferación de espumas que en este caso se mantienen particularmente constantes, debido a que el ingreso de residuos líquidos industriales es habitual.



**Figura 5.11** Causas bulking y espumas SBR 2, PTAS Til-Til 2011.



**Figura 5.12** Efectos bulking y espumas SBR 2, PTAS Til-Til 2011.

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, el bulking causa problemas de sedimentabilidad y baja calidad del efluente (mayor turbiedad), en cambio las espumas afectan principalmente la calidad del agua tratada (efluente), ya que aportan partículas que enturbian el agua clarificada del reactor biológico las que luego son enviadas a desinfección, consumiendo mayor cantidad de desinfectante bajando el cloro residual, esto se puede apreciar claramente en la **Figura 5.12**, donde se observa una baja del cloro residual en el periodo en que ocurren ambos fenómenos. En la primera sección del gráfico también podemos observar que cuando no hay bulking igualmente hay bajos valores de cloro remanente.

Los gastos en productos químicos utilizados tanto para corregir los fenómenos de bulking y espumas, como los insumos utilizados en deshidratación y sequedad del lodo serán tratados en el capítulo análisis de costos.

## 6 SEGUIMIENTO MICROSCÓPICO

Se realizó un seguimiento microscópico semanal a cada reactor biológico de las PTAS Curacaví, El Monte y SJM durante un periodo de seis meses, comprendido entre Mayo y Octubre y un estudio de caso a la PTAS Til-Til. De esta forma se logró observar el comportamiento de los fenómenos en estudio durante casi la totalidad de la estacionalidad otoño-invierno y además sumar el inicio de la primavera para notar el efecto del cambio de temperatura ambiente en el crecimiento de las bacterias y la formación de espuma.

Se consideraron siete bioindicadores, los que fueron escogidos principalmente por que deben su aparición a condiciones específicas y son de fácil reconocimiento visual. Estas especies junto a sus causas de proliferación son indicadas en la **Tabla 6.1**. Las características físicas de estos bioindicadores fueron ilustradas en la **Figura 2.11** "Bacterias bioindicadoras".

**Tabla 6.1** Bioindicadores seleccionados para el seguimiento microscópico.

Bioindicador	Significancia
<b>Zooglea sp.</b>	Buena floculación.
<b>Aspidisca sp.</b> (ciliados móviles)	Buen estado del lodo, buena calidad del efluente.
<b>Vorticella sp.</b>	Alta calidad del efluente.
<b>Cilios vacíos de Vorticella sp.</b>	Medios con bajo oxígeno disuelto o tóxicos (presencia de RILes).
<b>Euchlanis sp.</b>	Alta calidad del efluente. Indicador de suministro continuo de oxígeno, mantención de condiciones aerobias.
<b>Opercularia sp.</b>	Sobre carga másica, bajo oxígeno disuelto o toxicidad.
<b>Rotíferos (Phillodina sp.)</b>	Lodo estable, buena oxigenación.

Las bacterias filamentosas consideradas principalmente son las *Microthrix parvicella* y *Nocardia* sp. de filamentos largo y corto respectivamente, estas son de fácil reconocimiento y comunes en los procesos de las plantas en estudio según datos entregados por microscopías realizadas anteriormente. Sin embargo, de aparecer algún tipo distinto de estas bacterias debe ser informado. Estos microorganismos fueron ilustrados en la **Figura 2.13** "Bacterias filamentosas" y sus causas de proliferación se indicaron en la **Tabla 2.2** "Tipos de bacterias filamentosas y condiciones favorables para su proliferación por Jenkins y col en 1948."

Además de la información extraída en la microscopía propiamente tal, se debe disponer de una serie de datos de proceso que corresponden al día en que fue tomada la muestra, de esta forma se realiza un análisis entre lo observado en las muestras y lo ocurrido en cada planta. Estos valores son Indicados en la **Tabla 6.2** y son recopilados desde las bases de datos de Aguas andinas S.A. "Control Proceso", "SCT" y "Bitácoras CCOD (Centro Control de Operaciones, Depuración)".

**Tabla 6.2** Datos de proceso considerados en el seguimiento microscópico.

<b>Bloque</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
<b>Afluente</b>	Conductividad	us/cm
	pH	u
	DBO <sub>5</sub>	mg/L
	Aceites y Grasas	mg/L
<b>Tratamiento Biológico</b>	SST	mg/L
	SSV	mg/L
	V30	mL/L
	IVL	mL/g
	OD	mg/L
	F/M	Adimensional



<b>Bloque</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
	Cloro residual	ppm
<b>Efluente</b>	pH	u
	Turbiedad	UNT
<b>Purga de lodos</b>	Edad del lodo	Días
<b>Deshidratación</b>	%MS (materia seca)	%
<b>Otros</b>	Ingreso de RIL	-

Los rangos aceptados de cada parámetro están indicados en la sección **4.7.2** "Límites de proceso".

Toda la información recopilada en la microscopía es ordenada y escrita en un informe, el que además debe contar con recomendaciones según el resultado que se obtenga de acuerdo a lo observado y los datos de proceso. El formato de este documento fue elaborado en conjunto con el área de calidad de Aguas Andinas S.A. y se muestra en el capítulo 11 Anexos, "A. *Formato de Informe de Microscopía Utilizado por ACAL*".

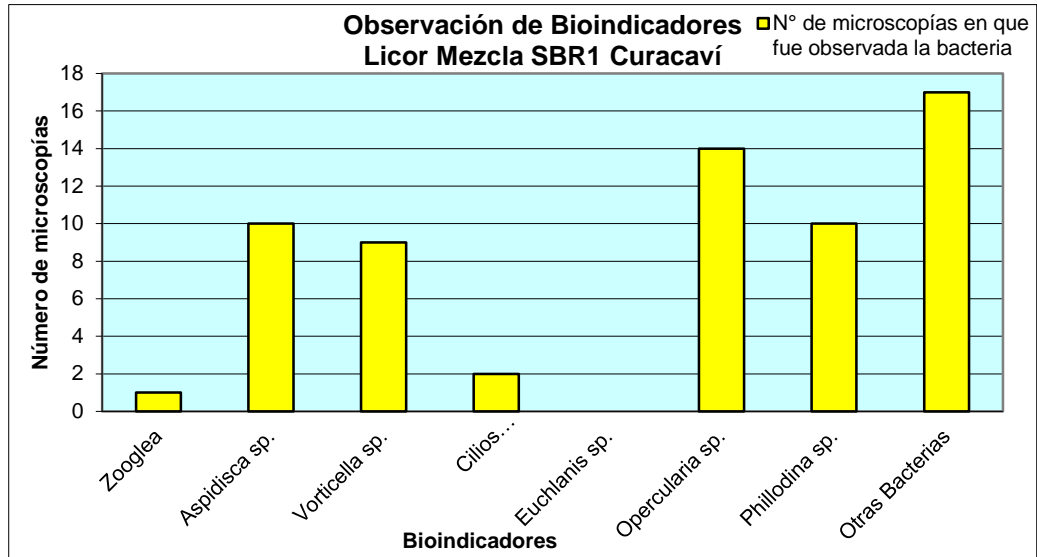
Los resultados del seguimiento microscópico de cada planta en estudio se detallan en el siguiente ítem.

## **6.1 Curacaví**

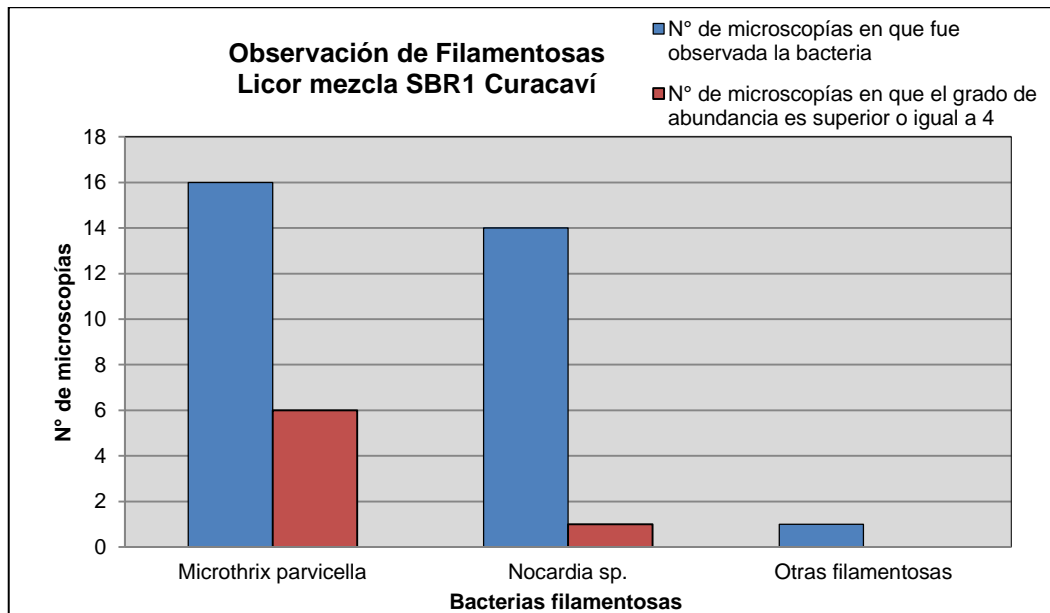
### **6.1.1 Resultados del Seguimiento Microscópico Planta Curacaví**

Se realizaron *diecisiete* microscopías a cada reactor biológico, de donde se obtuvieron los siguientes resultados (El detalle de estas está indicado en el capítulo 11 Anexos, "B. *Detalle del Seguimiento Microscópico, B.1 Curacaví*"):

**Reactor biológico 1:**



**Figura 6.1** Observación de bioindicadores en licor mezcla del SBR1, PTAS Curacaví.



**Figura 6.2** Observación de filamentosas en licor mezcla del SBR1, PTAS Curacaví.

De acuerdo a las **Figuras 6.1** y **6.2** podemos realizar las siguientes observaciones para el Licor mezcla del reactor biológico 1:

1. Se observa una gran cantidad de *Aspidisca* sp., *Vorticella* sp. y *Phillodina* sp. evidenciando que en general se mantiene un lodo estable y el efluente es del alta calidad.
2. La alta presencia de otras bacterias es indicador de que se mantiene una biodiversidad de microorganismo favorables para la degradación de la materia orgánica.
3. Existe una alta presencia de *Opercularia* sp. indicando que los posibles problemas de bulking filamentoso se deben al ingreso de RILes, o a una deficiente aireación.
4. Se observa elevada presencia de bacterias filamentosas indicando que existe probabilidad de producir bulking filamentoso debido a la presencia de *M. parvicella*, sin embargo sólo en 6 microscopías se observó un grado de abundancia que indicara problemas de abultamiento, además existe una preponderancia a la formación de espumas debido a la proliferación de *Nocardia* sp pero sólo en una ocasión su abundancia indicaba riesgo.

## **OBSERVACIÓN**

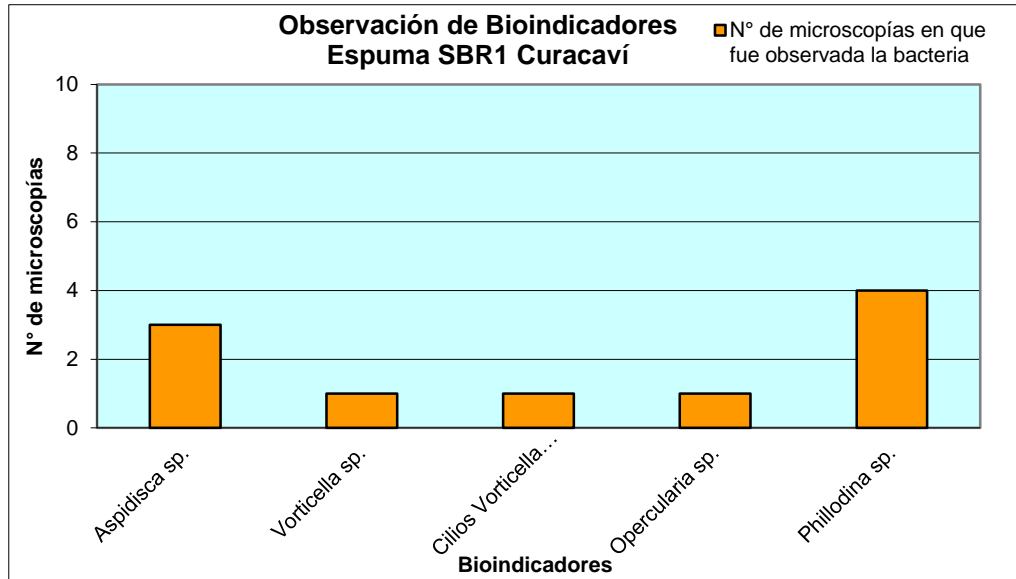
En cuanto a la observación de las espumas, se espera no observar gran cantidad de bioindicadores en esta, ya que, de ser así indica que la espuma a estado demasiado tiempo sobre la superficie de los SBR (espumas viejas) como para que se traspasen bacterias del licor mezcla a estas, o también existe una gran abundancia de microorganismos suficientes como para ser retenidas en la espuma. Evidentemente esto es señal de problemas si además la bacteria observada es un mal indicador.

Durante el periodo de seguimiento se obtuvieron *diez* muestras con espumas, las que corresponden a un sólo evento el cual tuvo una duración aproximada de 2 meses.

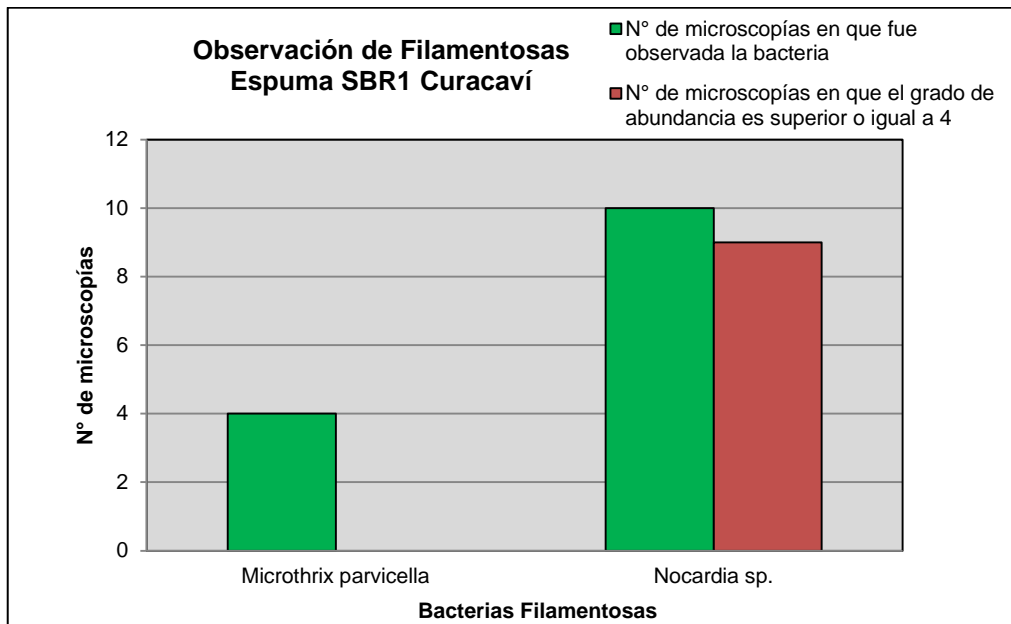
De acuerdo a esto último y a las **Figuras 6.3** y **6.4** podemos realizar las siguientes observaciones para la espuma del reactor biológico 1:

1. Se observa que a pesar de la formación de espumas, esta no daña severamente el tratamiento depurativo, ya que, existe una alta abundancia de microorganismos favorables para este, lo que se demuestra al encontrar buenos bioindicadores como la *Aspidisca* sp. y *Phillodina* sp. en la espuma analizada.

2. Se observa presencia de Opercularia sp. lo que indica que los problemas de espuma pueden ser provocados por oxigenación deficiente y/o ingresos de RIL.
3. La muestra observada contiene altos niveles de Nocardia sp. y con elevado grado de abundancia esto indica que los problemas de proliferación de espumas se deben al crecimiento excesivo de esta bacteria.

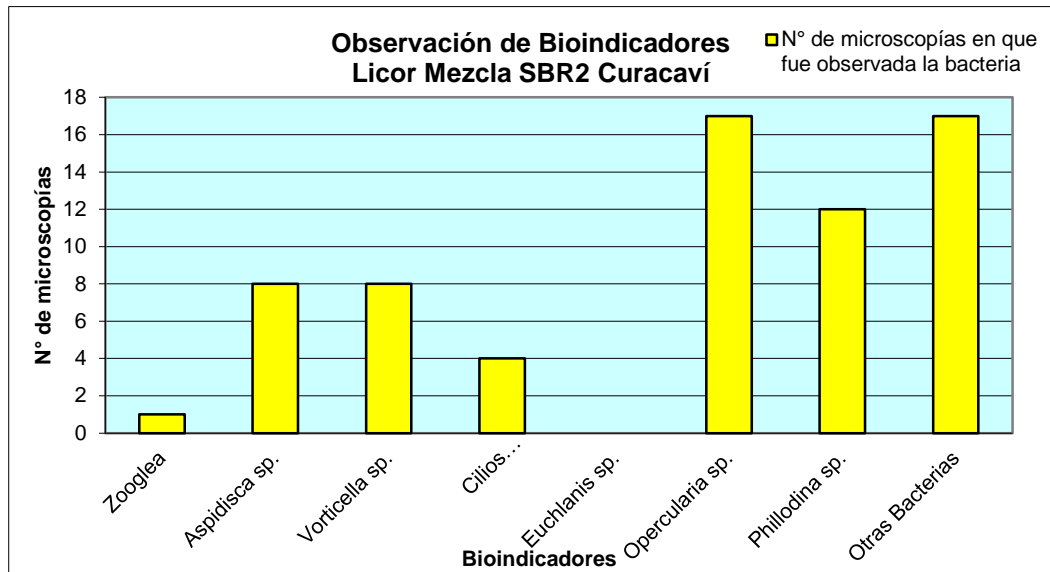


**Figura 6.3** Observación de bioindicadores en espuma del SBR1, PTAS Curacaví.

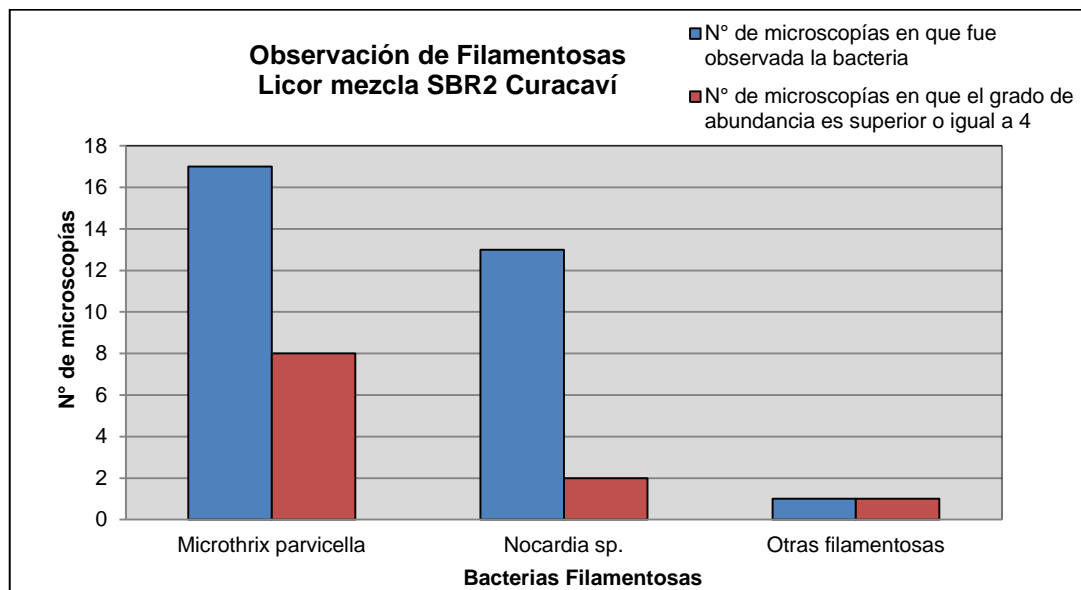


**Figura 6.4** Observación de filamentosas en espuma del SBR1, PTAS Curacaví.

**Reactor biológico 2:**



**Figura 6.5** Observación de bioindicadores en licor mezcla del SBR2, PTAS Curacaví.



**Figura 6.6** Observación de filamentosas en licor mezcla del SBR2, PTAS Curacaví.

De acuerdo a la **Figura 6.5** y **6.6** podemos realizar las siguientes observaciones para el Licor mezcla del reactor biológico 2:

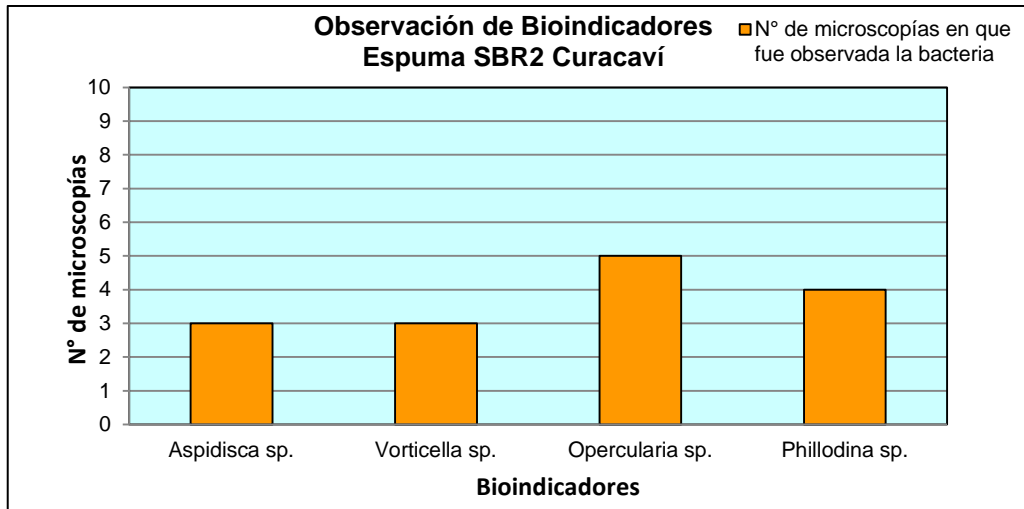
1. Existe elevada presencia de Opercularia sp. esto nos indica que los posibles problemas de bulking filamentoso y proliferación de espumas es consecuencia de falta de oxígeno o presencia de tóxicos.
2. A diferencia del SBR1, en este reactor no existe abundancia de indicadores de alta calidad del efluente como Aspidisca sp, sin embargo, tenemos un lodo estable como lo demuestra la presencia de Phillodina sp., y no deberíamos tener problemas con la depuración, ya que se tiene una gran cantidad de otros microorganismos degradadores.
3. En cuanto a la presencia de bacterias filamentosas, estas están presentes en todas las muestras, con una preponderancia de la M. parvicella causante del bulking filamentoso la que además presenta elevados grados de abundancia en la mitad de las microscopías. También existe una gran participación de Nocardia sp. la principal bacteria formadora de espumas pero esta presenta pocos casos con gran abundancia.

Durante el periodo de seguimiento se obtuvieron *once* muestras con espumas, las que corresponden a un sólo evento el cual tuvo una duración aproximada de 2 meses.

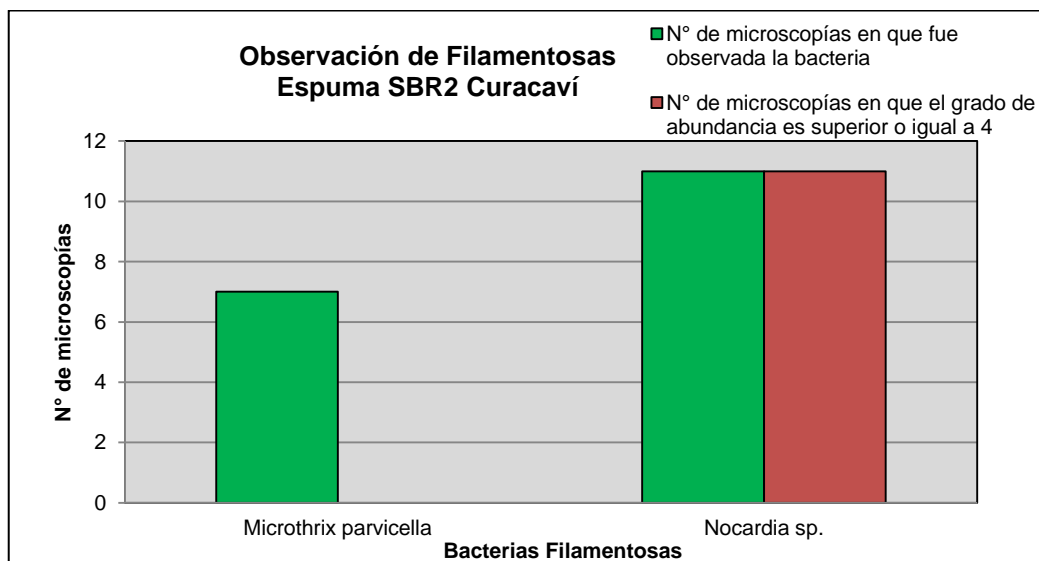
De acuerdo a esto último y a las **Figuras 6.7** y **6.8** podemos realizar las siguientes observaciones para la espuma del reactor biológico 2:

1. Mayor presencia de Opercularia sp., de acuerdo a esto podemos inferir que el problema principal de este reactor es la falta de oxígeno disuelto o toxicidad, lo que produce el estrés de las bacterias y posterior formación de espumas.
2. También se corrobora mediante la observación de Phillodina sp. que tenemos un lodo estable.
3. Se observa y corrobora que la bacteria filamentosa causante de los problemas de espumas es la Nocardia sp. notándose también que presenta alta abundancia en la totalidad de las muestras analizadas.

Al comparar las microscopías de ambos reactores podemos observar que a pesar que se trata de una misma planta de tratamiento, los reactores tienen biodiversidades de microorganismos diferentes, es más, el seguimiento nos demuestra que durante el periodo de análisis, el SBR2 presenta menores capacidades de depuración y mayores problemas que el SBR1.



**Figura 6.7** Observación de bioindicadores en espuma del SBR2, PTAS Curacaví.



**Figura 6.8** Observación de bioindicadores en espuma del SBR2, PTAS Curacaví.

Para poder corroborar que tanto nuestras observaciones como los bioindicadores elegidos son correctos, debemos comparar la información obtenida desde las microscopías con los datos de planta, principalmente las variaciones de IVL, oxígeno disuelto e ingreso de RILes ocurridos durante el periodo de seguimiento.

## 6.1.2 Comparación Antecedentes 2012 Planta Curacaví

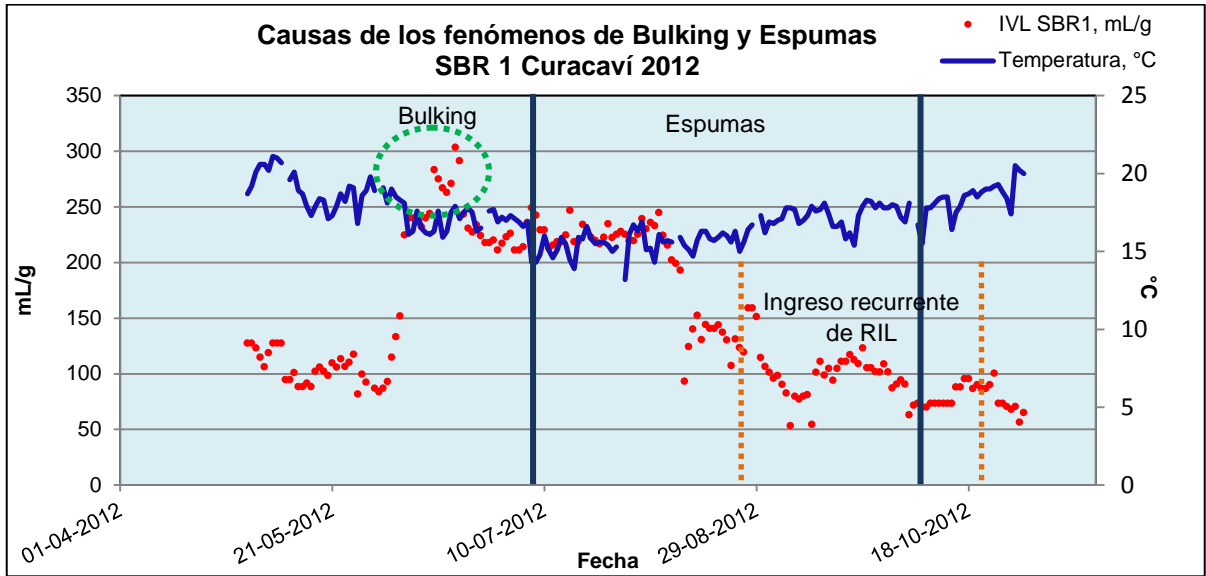
### Reactor biológico 1:

En la **Figura 6.9** se observa que durante el periodo de seguimiento sólo ocurrió un evento de bulking ( $IVL \geq 250$  mL/g) que tuvo una duración de 7 días, fenómeno aislado cuya causa fue la baja temperatura que durante ese periodo se encontraba cerca de los 17°C y la presencia de bacterias filamentosas del tipo *M. parvicella*.

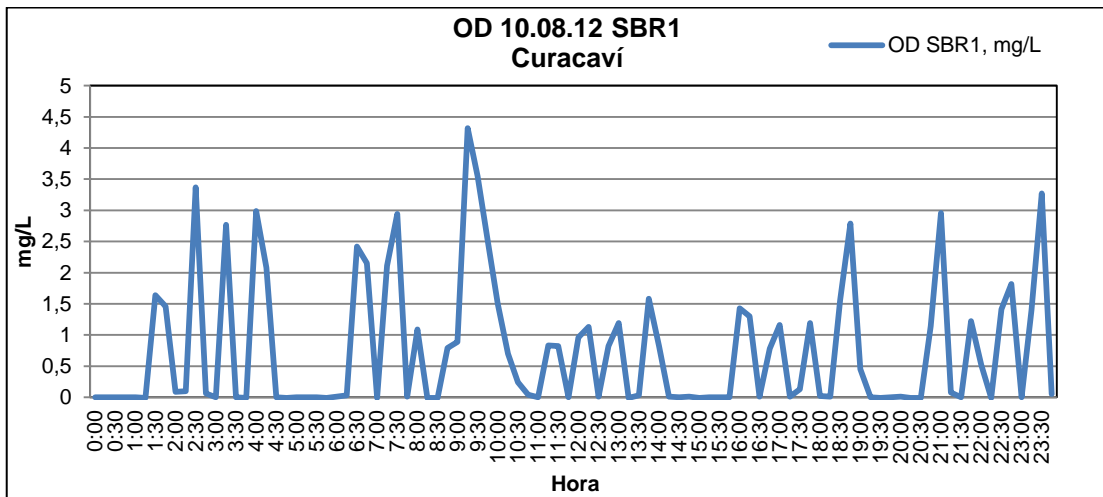
Por otro lado se observa un extenso y persistente periodo con espumas entre los meses de Junio y Octubre. Considerando un día arbitrario, en la **Figura 6.10** se aprecia que existe una deficiencia en la oxigenación del reactor, notando que no hay uniformidad en los ciclos de aireación, además de presentar *peak* menores al mínimo requerido (1,5 mg/L). Hacia finales del mes de agosto se presentó un ingreso recurrente de RILes a la planta, tal como se observa en la **Figura 6.9**. Tanto la falta de OD como la toxicidad, favorecen la multiplicación de la *Nocardia* sp. causando proliferación de espumas. De acuerdo a lo concluido en el ítem anterior para el SBR1, se consideró que estas eventualidades podrían ser las causas de la aparición de espumas, debido a la observación de *Opercularia* sp., lo cual después de este análisis de los datos queda corroborado.

Nótese también el comportamiento inversamente proporcional entre el IVL y la temperatura, demostrándose que a mayor temperatura menor es el valor de IVL.





**Figura 6.9** Causas de los fenómenos de bulking y espumas SBR1, Curacaví 2012.

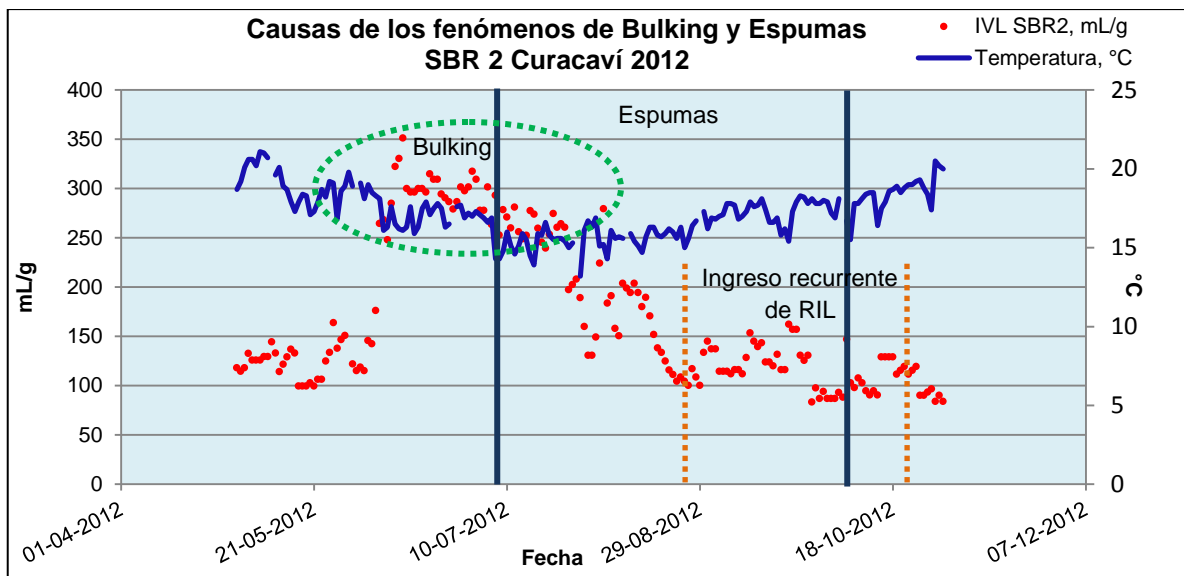


**Figura 6.10** Oxígeno disuelto 10.08.2012, SBR1 Curacaví.

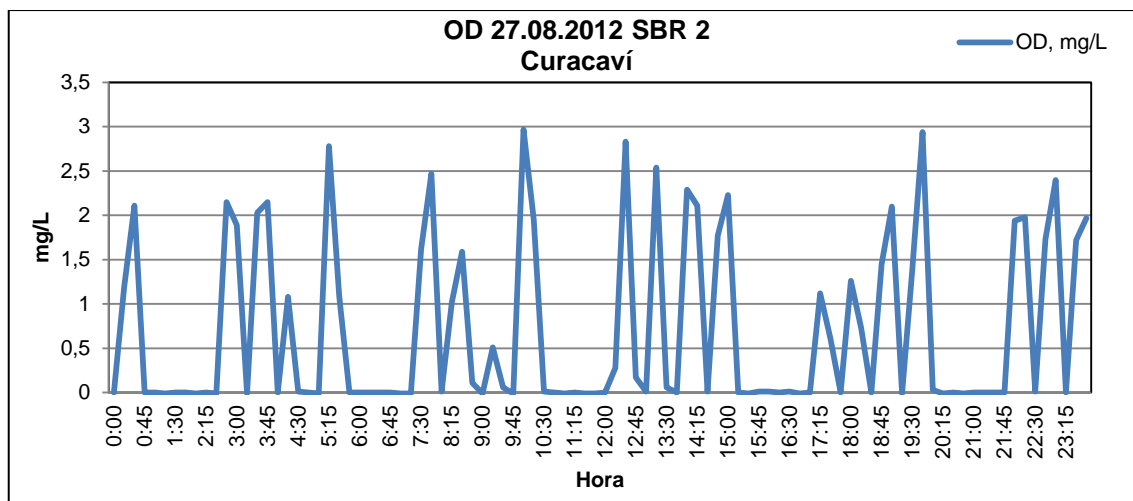
## Reactor biológico 2:

En la **Figura 6.11** se observa un evento de bulking filamentoso (IVL  $\geq 250$  mL/g) que ocurre simultáneamente con el descenso de la temperatura el cual se extiende por 49 días, también podemos notar que se produce proliferación de espumas conforme avanza y persiste este fenómeno.

Al igual que para el SBR1 aquí también ocurre un extenso y persistente periodo con espumas entre los meses de Junio y Octubre. Realizando el mismo análisis al oxígeno disuelto de un día arbitrario, en la **Figura 6.12** podemos notar que la oxigenación es inestable e insuficiente (menor a 1,5 mg/L). Además se registra un ingreso recurrente de RILes en el mismo periodo que para el primer reactor. La falta de oxígeno y el ingreso de material tóxico a las unidades biológicas son causantes de estrés para las bacterias degradadoras, ambiente en el cual se favorece el crecimiento de filamentosas como la *M. parvicella* y *Nocardia* sp. asociadas principalmente al bulking y espumas respectivamente. En el ítem anterior se concluyó para el SBR2 que estas podrían ser las causas de los problemas de bulking y espumas, debido a la observación del bioindicador *Opercularia* sp., después del análisis realizado a los datos, esto puede ser aseverado.



**Figura 6.11** Causas de los fenómenos de bulking y espumas SBR2, Curacaví 2012.



**Figura 6.12** Oxígeno disuelto 27.08.2012, SBR2 Curacaví.

### 6.1.3 Acciones para Controlar los Eventos de Bulking y Espumas Planta Curacaví

Para corregir los fenómenos de bulking y espumas ocurridos durante el periodo de seguimiento se utilizaron productos químicos, Hipoclorito de sodio y antiespumante para el control bulking y de espumas respectivamente.

Se enviaron ocho consignas para control bulking y siete para eliminación de espumas, los detalles pueden observarse en las **Tablas 6.3** y **6.4**.

**Tabla 6.3** Consignas para el control bulking, Curacaví periodo seguimiento 2012.

Fecha	Dosis gCl/KgSSVLM	Caudal aplicación L/h	Tiempo aplicación h/día	SRB bajo aplicación	Duración aplicación días
10.08.12	5	24	18	1 y 2	7
14.08.12	2,5	24	9	1 y 2	4
24.08.12	2,5	24	9	1 y 2	14
05.09.12	2,5	24	9	1 y 2	10

<b>22.09.12</b>	2,5	24	9	1 y 2	14
<b>05.10.12</b>	2,5	24	9	1 y 2	10
<b>17.10.12</b>	1,0	24	4	1 y 2	5
<b>27.10.12</b>	1,0 - 1,5	24	1,5	2	5

**Tabla 6.4** Consignas para el control de espumas, Curacaví periodo seguimiento 2012.

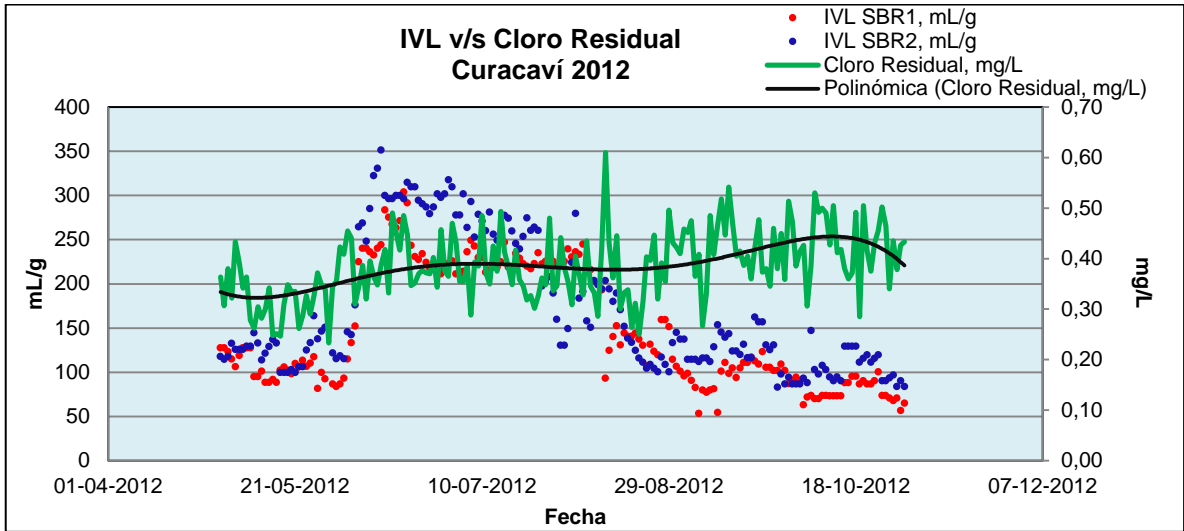
<b>Fecha</b>	<b>Caudal aplicación L/h</b>	<b>Tiempo aplicación h/día</b>	<b>SRB bajo aplicación</b>	<b>Duración aplicación días</b>
<b>10.08.12</b>	42	2	1 y 2	7
<b>24.08.12</b>	42	2	1 y 2	7
<b>05.09.12</b>	42	2	1 y 2	10
<b>22.09.12</b>	42	2	1 y 2	7
<b>05.10.12</b>	42	2	1 y 2	10
<b>17.10.12</b>	42	1	1 y 2	5
<b>27.10.12</b>	42	1	2	5

Los consumos totales y costos de estos productos serán tratados en el capítulo análisis de costos.

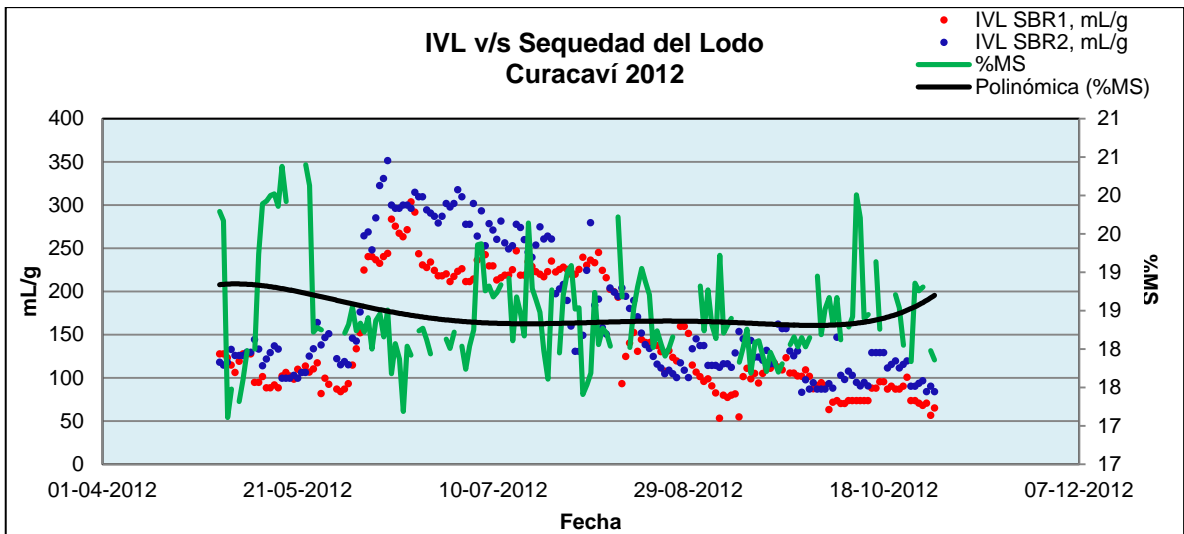
#### **6.1.4 Efectos de los Eventos Ocurridos Planta Curacaví**

En la **Figuras 6.13** se observa que durante los periodos en que el IVL aumenta los valores del cloro residual bajaron. Esto corresponde a un efluente de menor calidad que requiere de mayor cantidad de cloro para desinfectar.

Con respecto a la sequedad del lodo, en la **Figura 6.14** se observa, que su porcentaje disminuyó cuando aumentaba el valor de IVL, esto indica que durante esos periodos el lodo tenía mayor dificultad para deshidratarse.



**Figura 6.13** Efectos del aumento del IVL sobre el cloro residual, durante periodo de seguimiento 2012, Curacaví.



**Figura 6.14** Efectos del aumento del IVL sobre la sequedad del lodo, durante periodo de seguimiento 2012, Curacaví.

## 6.2 El Monte

### 6.2.1 Resultados del Seguimiento Microscópico Planta El Monte

Se realizaron diecinueve microscopías a cada reactor biológico, de donde se obtuvieron los siguientes resultados (El detalle de estas está indicado en el capítulo 11 Anexos, "*B. Detalle del Seguimiento Microscópico, B.2 El Monte*"):

#### Reactor biológico 1:

De acuerdo a las **Figuras 6.15** y **6.16** podemos realizar las siguientes observaciones para el Licor mezcla del reactor biológico 1:

1. Se aprecia gran cantidad de microorganismos favorables indicadores de lodos estables, buena calidad del efluente como lo son la *Aspidisca* sp, *Vorticella* sp y *Phillodina* sp, además de contar con gran cantidad de biodiversidad de microorganismos que propician un buen tratamiento.
2. Se observa la presencia de Cilios vacíos de *Vorticella* sp. y *Opercularia* sp, los que concuerdan los fenómenos de bulking y espumas producidos, debido a posibles ingresos de RILes o toxicidad.
3. En cuanto a las bacterias filamentosas, se observa que tanto el bulking como las espumas son causadas por el crecimiento excesivo de las especies *M. parvicella* y *Nocardia* sp. respectivamente. Además podemos notar que para la primera bacteria se observó elevados grados de abundancia en casi la totalidad de los análisis, mientras que para la segunda especie se encontraron menos eventos, los que coinciden con los fenómenos ocurridos.

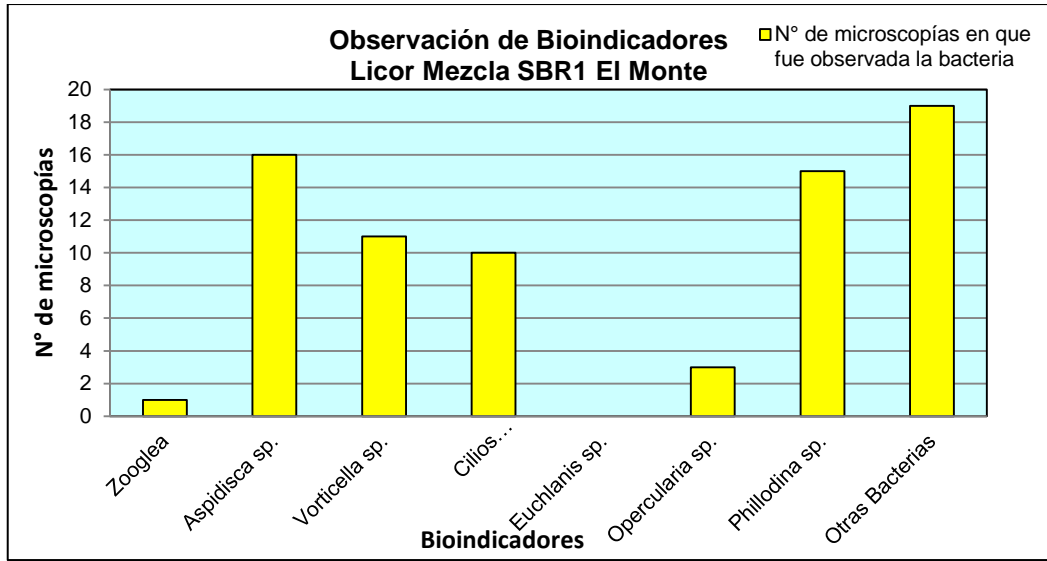


Figura 6.15 Observación de bioindicadores en licor mezcla del SBR1, PTAS El Monte.

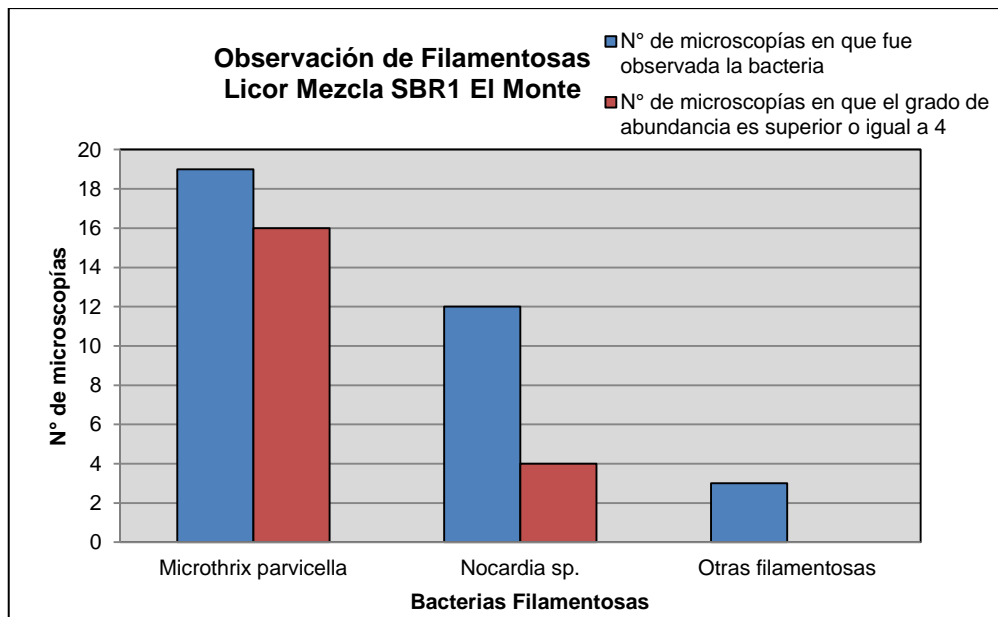
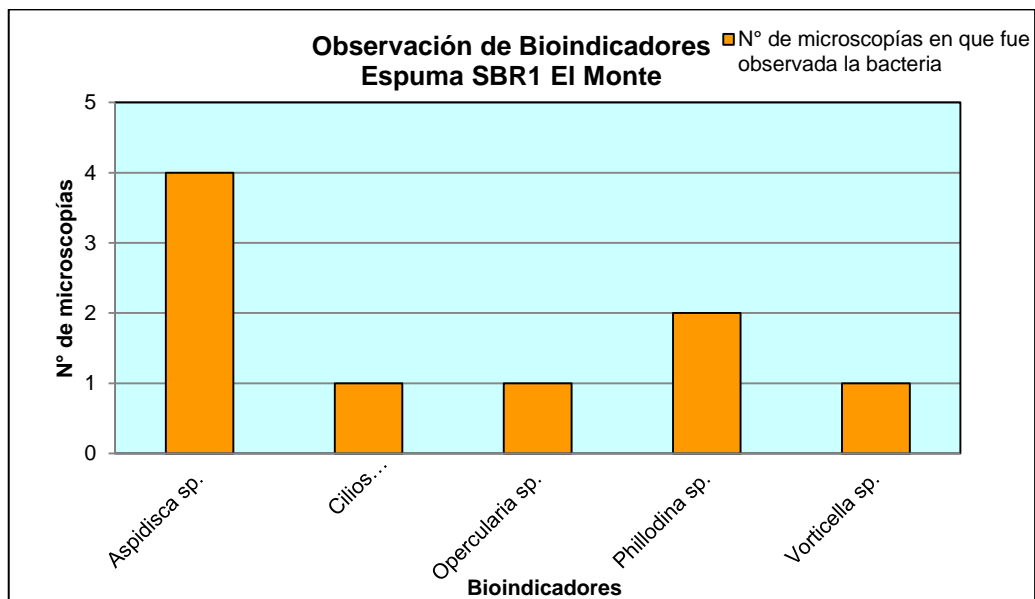


Figura 6.16 Observación de filamentosas en licor mezcla del SBR1, PTAS El Monte.

Durante el periodo de seguimiento se obtuvieron *cinco* muestras con espumas, las que corresponden a cinco eventos de proliferación con una duración aproximada de 7 días por cada suceso.

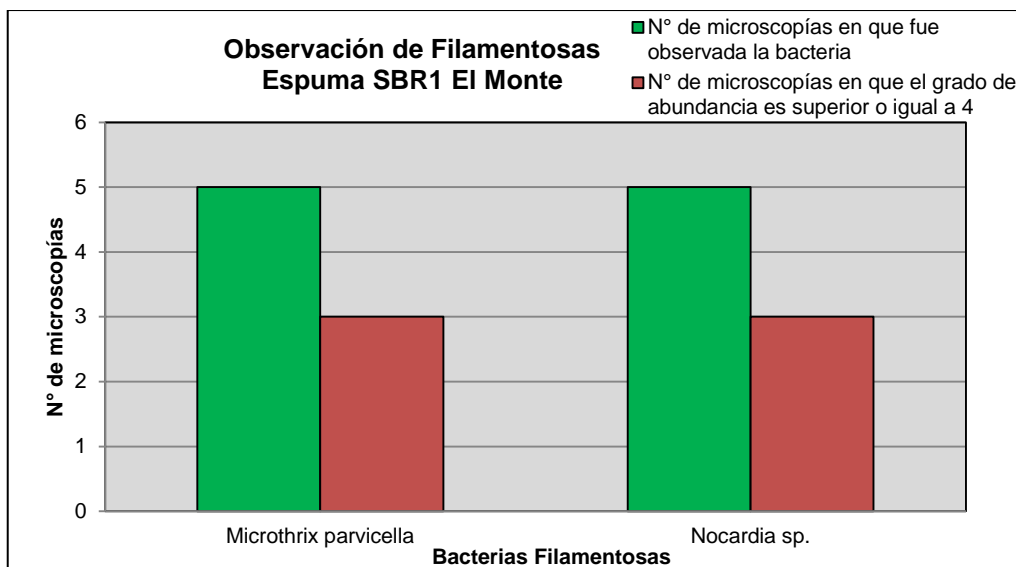
De acuerdo a las **Figuras 6.17** y **6.18** que grafican los resultados de los cinco análisis, podemos realizar las siguientes observaciones para la espuma formada en el reactor biológico 1:

1. Alta cantidad de buenos bioindicadores, principalmente *Aspidisca* sp. y *Phillodina* sp. lo que indicaría que se mantienen buenas condiciones para degradar la materia orgánica y tratar el agua servida.
2. Se observa baja presencia de *Opercularia* sp. y cilios vacíos de *Vorticella* sp., lo que indicaría que los eventos de bulking y espumas corresponden al ingreso de RILes y bajo oxígeno disuelto.
3. Alta presencia de filamentosas del tipo *M. parvicella* y *Nocardia* sp., las cuales presentan altos grados de abundancia en la mayoría de las microscopías, indicando que serían las bacterias causantes del abultamiento y las espumas.



**Figura 6.17** Observación de bioindicadores en espuma del SBR1, PTAS El Monte.





**Figura 6.18** Observación de filamentosas en espuma del SBR1, PTAS El Monte.

### Reactor biológico 2:

De acuerdo a las **Figuras 6.19** y **6.20** podemos realizar las siguientes observaciones para el Licor mezcla del reactor biológico 2:

1. Se observa gran cantidad de bioindicadores favorables para el tratamiento biológico, tales como *Aspidisca* sp. y *Vorticella* sp. indicador de buen estado del lodo, y buena calidad del efluente, además existe alta cantidad de *Phillodina* sp. lo que indica un lodo estable. También observamos gran número de otras bacterias complementando la masa de microorganismos óptima para degradar la materia orgánica.
2. En este reactor se suma la presencia, aunque es baja, de *Euchlanis* sp. indicando que existe una buena oxigenación en la unidad.
3. Se aprecia presencia de *Opercularia* sp. y cilios vacíos de *Vorticella* sp., si bien son bajas apariciones, estas indican que los posibles problemas de bulking pueden provocarse por ingreso de RILes o falta de oxígeno.
4. Con respecto a la presencia de bacterias filamentosas, la *M. parvicella* es predominante, se observa en todas las microscopías y en más de la mitad con alta

abundancia. Con respecto a la Nocardia sp. esta se presenta en pocas ocasiones y con baja abundancia.

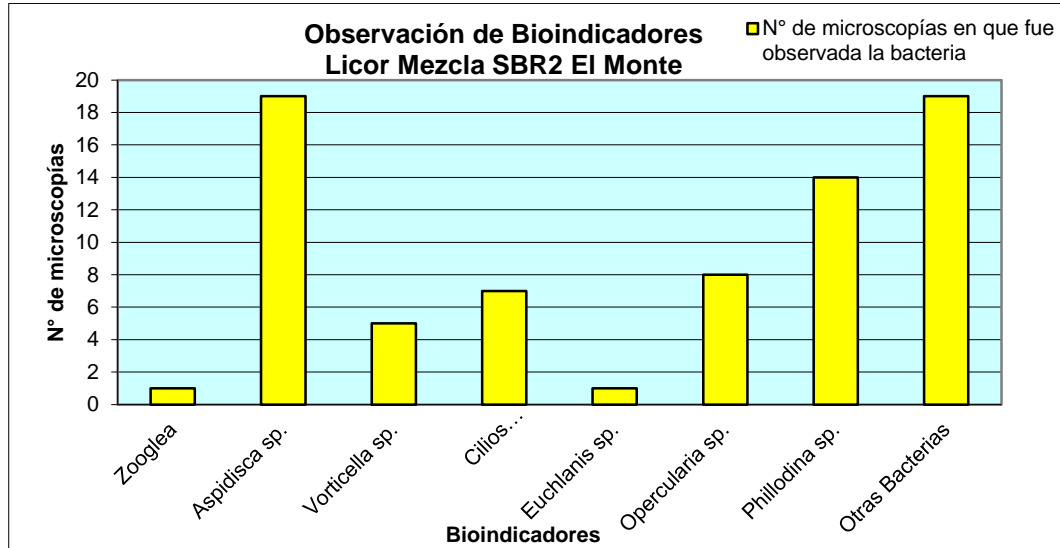


Figura 6.19 Observación de bioindicadores en licor mezcla del SBR2, PTAS EI Monte.

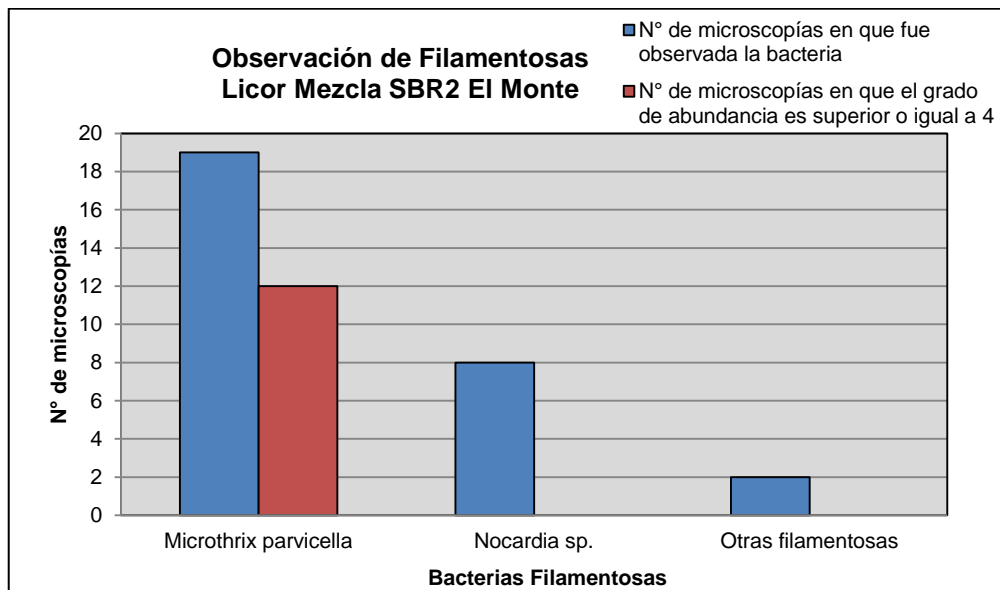


Figura 6.20 Observación de filamentosas en licor mezcla del SBR2, PTAS EI Monte.

Durante el periodo de seguimiento se produjo un evento de espumas, el que perduró por aproximadamente tres semanas. Debido a eventualidades propias del trabajo con plantas y personal en operación no se pudo contar con muestras para su análisis.

### **Reactor biológico 3:**

De acuerdo a las **Figuras 6.21** y **6.22** podemos realizar las siguientes observaciones para el Licor mezcla del reactor biológico 3:

1. Al igual que el SBR2 en este reactor se observa gran cantidad de *Aspidisca* sp. y *Vorticella* sp. indicador de buen estado del lodo, y buena calidad del efluente, alta presencia de *Phillodina* sp. lo que indica un lodo estable. Además se aprecia gran número de otros microorganismos lo que resulta favorable para tratar las aguas servidas.
2. Existe una presencia mayor de *Euchlanis*, lo que nos hace presumir que la oxigenación de este reactor es más estable y eficiente que en las otras unidades.
3. Se observa baja presencia de *Opercularia* sp. y cilios vacíos de *Vorticella* sp., sin embargo estas son consistentes con los fenómenos de bulking y espumas que se presentan, debido a la toxicidad o falta de OD.
4. Se aprecia una alta existencia de *M. parvicella* y con altos grados de abundancia en la mayoría de las microscopías, esto nos hace presumir que es la causante de los problemas de abultamiento. Por otro lado, existe crecimiento de *Nocardia* sp. pero con baja abundancia, consistente con escasos fenómenos de espumas superficiales.

En esta unidad biológica se originaron dos eventos de proliferación de espumas superficiales, estos tuvieron una duración aproximada de una semana. Al igual que para el reactor biológico 2 no se pudo contar con muestras para su análisis microscópico debido a eventualidades propias del trabajo con plantas y personal en operación.

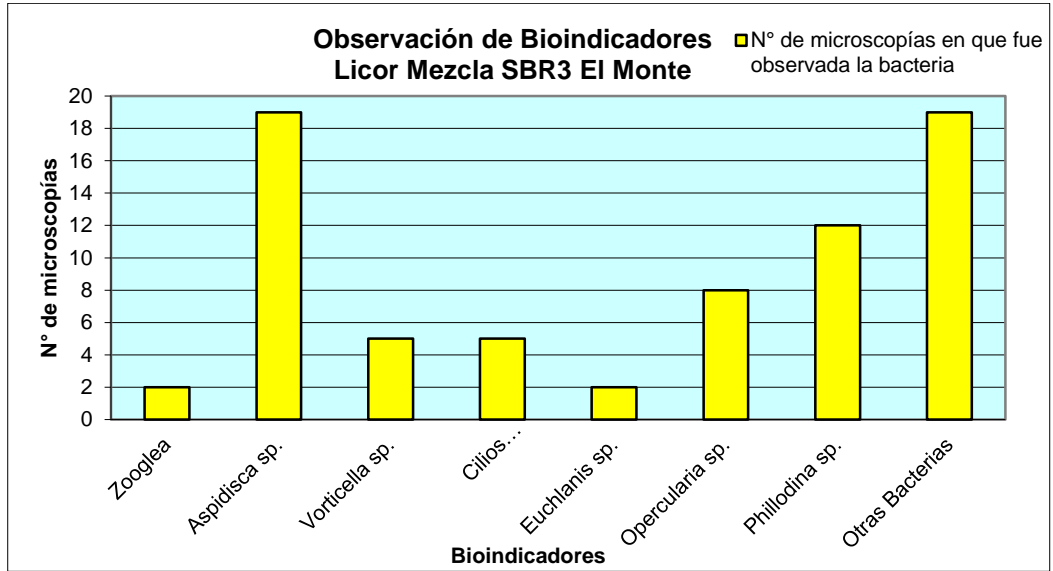


Figura 6.21 Observación de bioindicadores en licor mezcla del SBR3, PTAS El Monte.

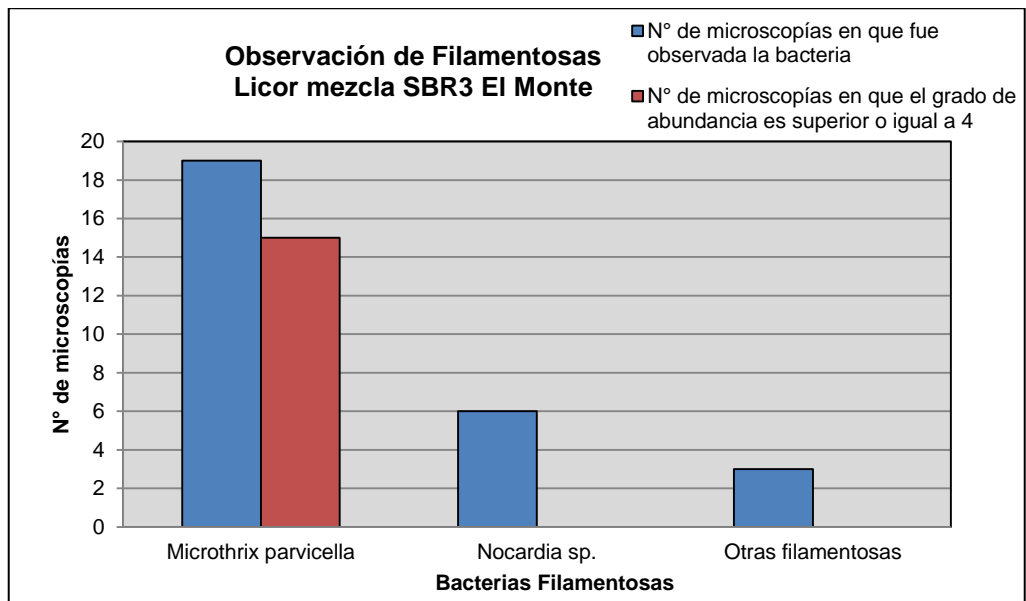


Figura 6.22 Observación de filamentosas en licor mezcla del SBR3, PTAS El Monte.

Luego de analizar los tres reactores podemos notar que en general presentan lodos estables y buena calidad del efluente. Sin embargo, no están ajenos a los problemas de bulking filamentoso y espumas superficiales, dentro de esto la unidad con mayores problemas es el SBR1, mientras que el menos problemático y el que cuenta con la mejor oxigenación es el SBR3, no obstante este reactor fue construido y puesto en marcha solo en el año 2011.

## 6.2.2 Comparación Antecedentes 2012 Planta El Monte

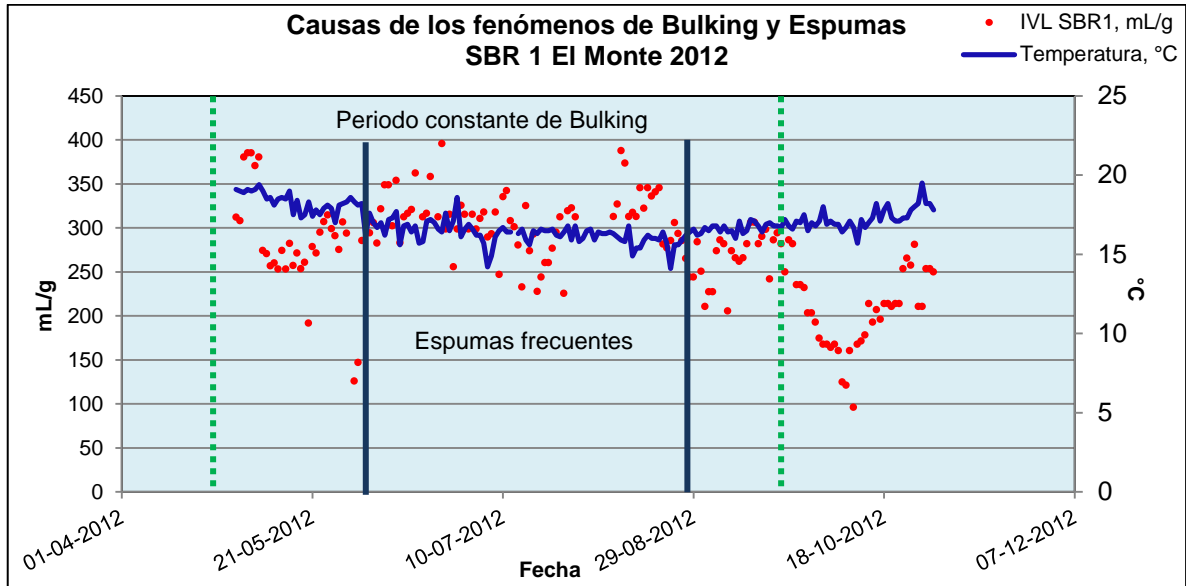
### Reactor biológico 1:

En la **Figura 6.23** podemos observar que durante todo el periodo de bajas temperaturas hubo bulking filamentoso, sólo con pequeños periodos de mejora, con respecto a las espumas se observa un periodo de aproximadamente dos meses y medio en que ocurrieron constantemente.

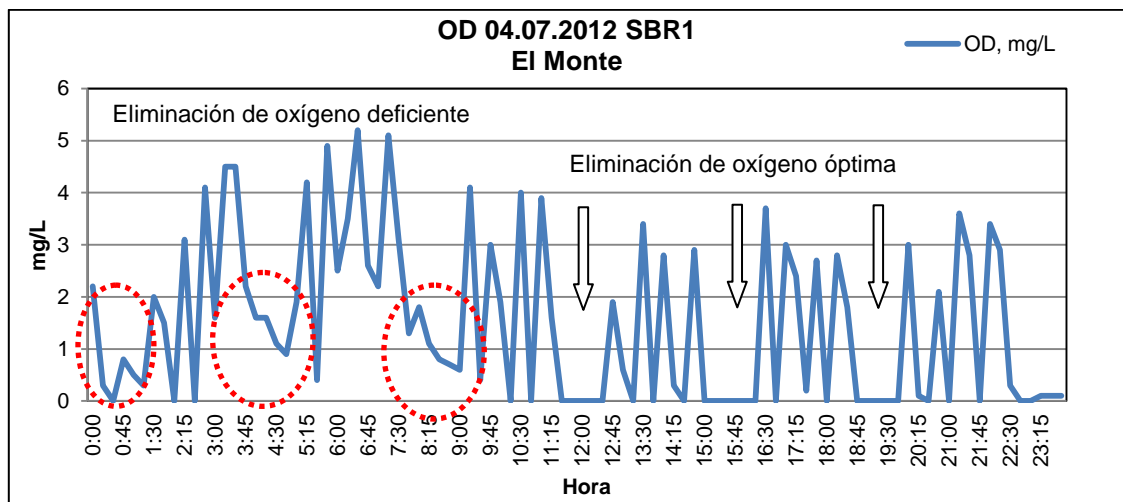
No se presenta un gran ingreso de RILes a esta unidad biológica, la información entregada a través de bitácoras indican que hubo tres ingresos durante los días anteriores a la formación de espumas. Esto no significa que no hayan entrado tóxicos a la planta, ya que, no siempre se da aviso del ingreso de estos (deficiencia de operación) por lo tanto no quedan registros. Además debemos considerar que si hubo presencia de bioindicadores de toxicidad como la Opercularia sp.

Hasta este punto solo podemos atribuirle las responsabilidades del bulking y la formación de espumas a las bajas temperaturas (en este caso existe proporcionalidad inversa entre el valor de IVL y la temperatura), sin embargo, si observamos la **Figura 6.24** que muestra el OD de la unidad durante un día arbitrario podemos notar, que existe una buena oxigenación con *peaks* que se encuentran dentro de lo requerido o levemente mayor ( $1,5\text{mg/L} \leq \text{OD} \leq 2,5\text{mg/L}$ ), pero en los sub ciclos de agitación se observa que no se libera la totalidad del oxígeno (actividad necesaria para que ocurra la desnitrificación) esto podría provocar una cierta toxicidad del reactor generando estrés en las bacterias filamentosas e

incidir en la sobre proliferación de estas, causando bulking y espumas superficiales. Eventualmente esto podría causar también el crecimiento de *Opercularia* sp. y cilios vacíos de *Vorticella* sp.

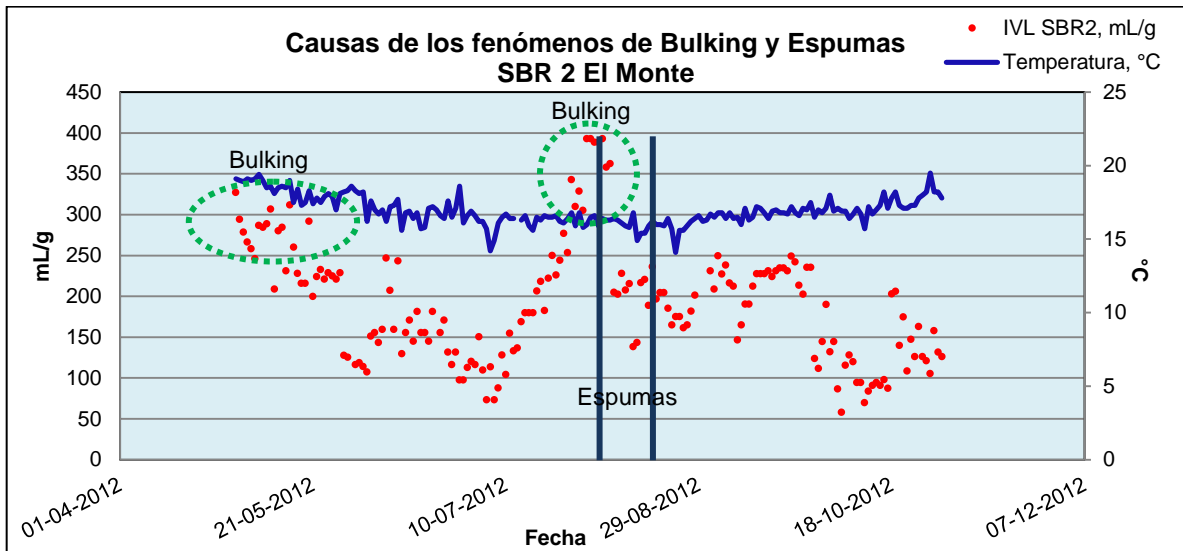


**Figura 6.23** Causas de los fenómenos de bulking y espumas SBR1, El Monte 2012.



**Figura 6.24** Oxígeno disuelto 04.07.2012, SBR1 El Monte.

## Reactor biológico 2:



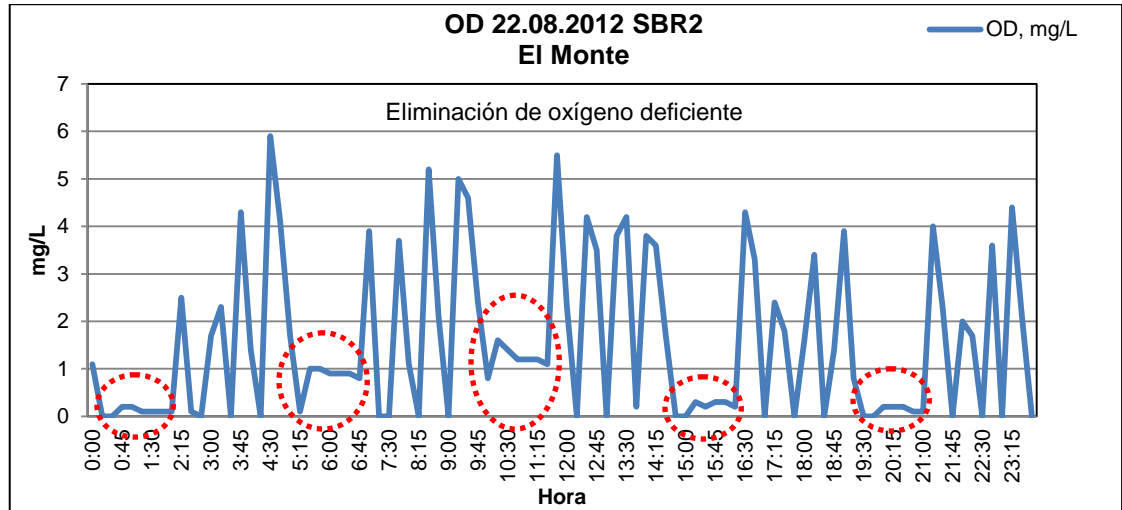
**Figura 6.25** Causas de los fenómenos de bulking y espumas SBR2, El Monte 2012.

En la **Figura 6.25** se observa que solo existen dos eventos de bulking y un sólo evento de formación de espumas superficiales durante el periodo de seguimiento. También se aprecia que el segundo fenómeno de abultamiento del lodo coincide con el comienzo de las espumas, sumándose a esto las bajas temperaturas.

Con respecto al ingreso de RILes, sólo hay un evento registrado para este reactor (igualmente pueden existir ingresos no registrados), ocurrido el día 07.05.12 lo que resulta consistente con la observación de Opercularia sp. y cilios vacíos de Vorticella sp. en el primer suceso de bulking registrado.

Si observamos la **Figura 6.26**, que corresponde al oxígeno disuelto de un día arbitrario para el SBR2, se aprecia que la oxigenación es estable, ya que los *peaks* de OD se encuentran sobre el mínimo requerido ( $OD \geq 1.5$  mg/L), sin embargo al igual que en el SBR1 la eliminación del oxígeno es deficiente, no permitiendo que se cumpla el proceso de desnitrificación en el reactor. Esto último puede provocar cierto grado de toxicidad e el

reactor y el posterior estrés de las bacterias, lo que finalmente conlleva a producir bulking filamentoso y espumas superficiales.



**Figura 6.26** Oxígeno disuelto 22.08.2012, SBR2 El Monte.

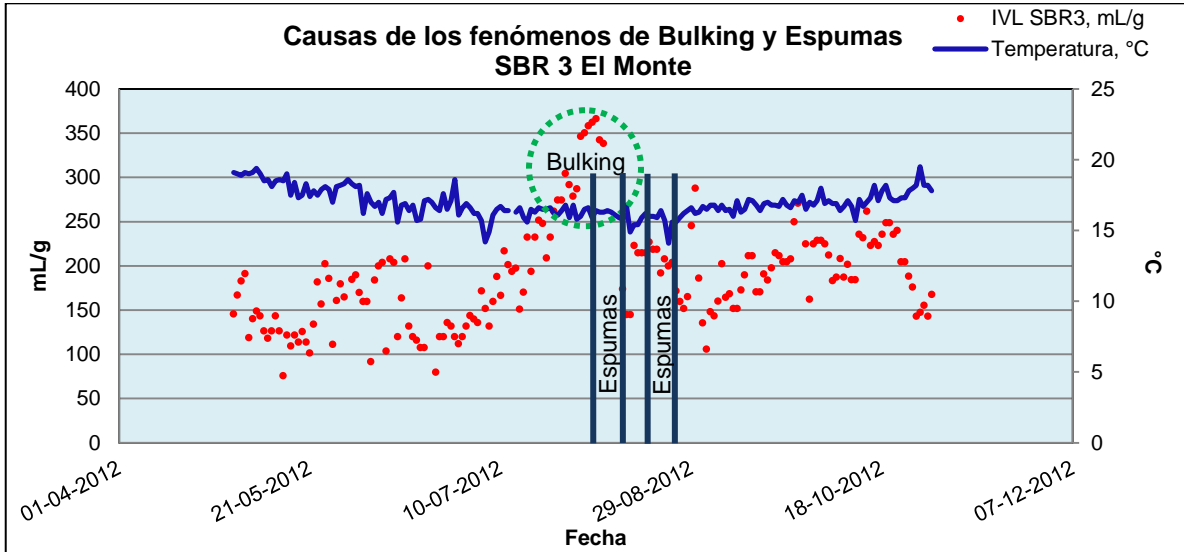
### Reactor biológico 3:

Al observar la **Figura 6.27** se aprecia que sólo existió un evento de bulking filamentoso y dos eventos cortos y aislados de espumas superficiales, estos coinciden con las bajas temperaturas. Podemos notar también, que el primer fenómeno de espumas es coincidente con el de abultamiento.

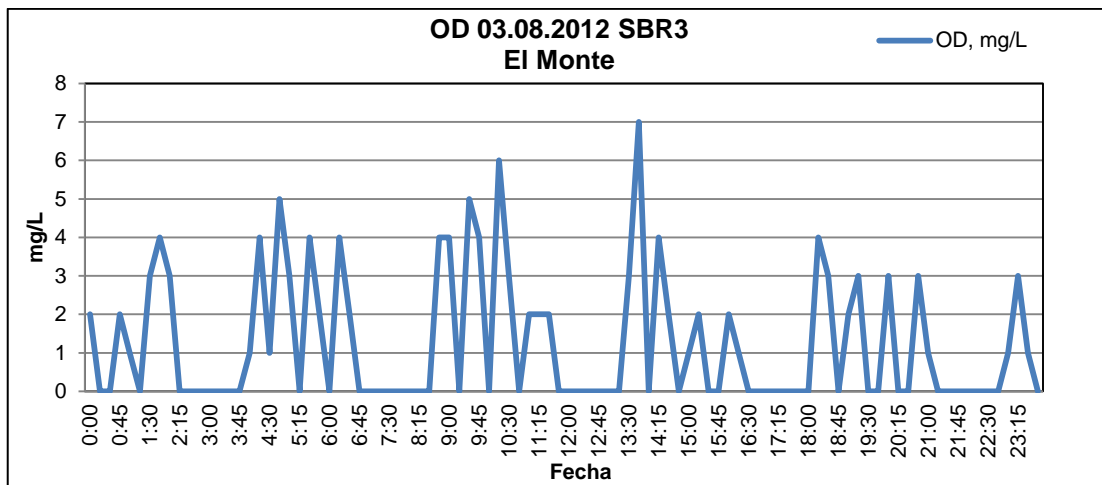
Para este reactor, no tenemos ingresos de RILes registrados en las bitácoras CCOD, sin embargo, esto no significa que no hayan ingresado estos tóxicos, ya que la observación de *Opercularia* sp. y cilios vacíos de *Vorticella* sp. así lo indican.

En la **Figura 6.28** que representa un día de OD del SBR3 escogido arbitrariamente, se observa una buena y estable oxigenación, en los cuales se llevan a cabo perfectamente los sub ciclos de agitación que liberan el oxígeno permitiendo que se realice correctamente la desnitrificación, lo que justifica la aparición de *Euchlanis* sp.





**Figura 6.27** Causas de los fenómenos de bulking y espumas SBR3, El Monte 2012.



**Figura 6.28** Oxígeno disuelto 03.08.2012, SBR3 El Monte.

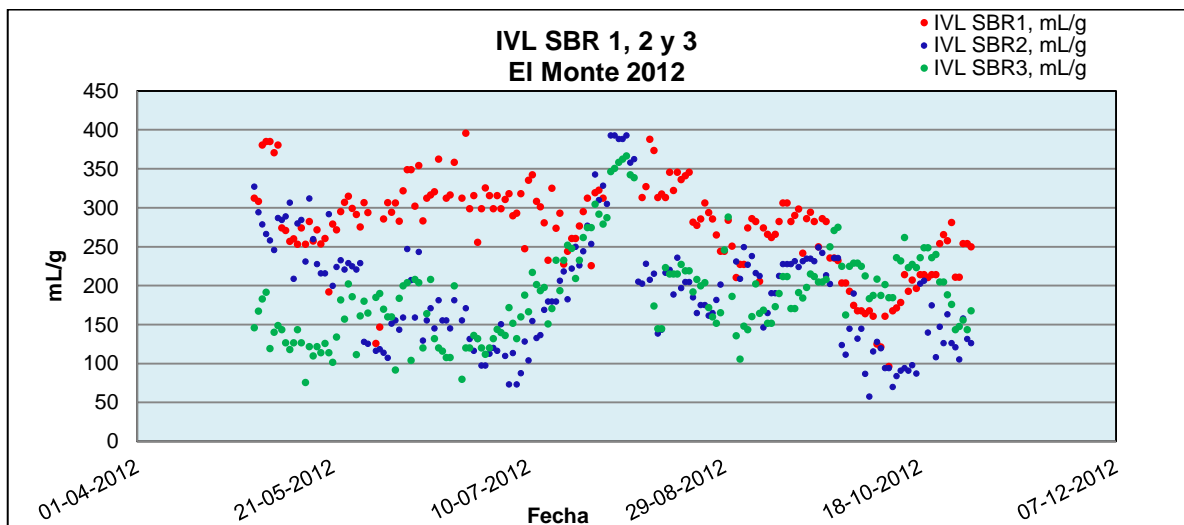
Otro dato no menos importante que podemos agregar al análisis de los fenómenos ocurridos, es que durante el periodo de análisis se les realizó mantención a las unidades biológicas, lo que consistió en sacar de funcionamiento por un par de días (5 días aproximadamente) un reactor dejando en funcionamiento los otros dos. Al estar diseñada la planta para tres reactores, el tratamiento se ve debilitado con un equipo menos, lo que

produce situación de estrés ya que la misma carga orgánica debe ser recibida y tratada sólo en dos equipos. En consecuencia, cada vez que salió un equipo de funcionamiento los valores de IVL de los otros, se elevaron como lo muestra la **Figura 6.29**, formando también espumas superficiales.

De acuerdo a lo analizado con los datos de proceso podemos confirmar que el reactor con mayor número de eventos, tanto de bulking y espumas es el SBR1 y el menos problemático es el SBR3, esto se debe principalmente, y como se mencionó anteriormente, a que fue construido y puesto en marcha el año 2011, por lo tanto sus equipos de agitación, oxigenación, etc. están menos deteriorados.

Las acciones consideradas para corregir los fenómenos de bulking y espumas ocurridos durante el periodo de seguimiento en la PTAS El Monte, fueron la utilización de insumos químicos Hipoclorito de sodio y antiespumante. En el caso del SBR1 las líneas de aplicación para el control bulking estaban fuera de servicio, por lo tanto no se pudo corregir este problema y como consecuencia este inconveniente se prolongó más de la cuenta.

Los consumos y costos de estos productos serán tratados en el capítulo análisis de costos.



**Figura 6.29** Comparación de los valores de IVL de los reactores biológicos de la PTAS el Monte, 2012.

## OBSERVACIÓN

Los sensores de medición de OD, son equipos bastantes sensibles y requieren un mantenimiento constante y adecuado, en este caso todos los equipos de las PTAS en estudio se encuentran deficientes, debido a diversas causas, como por ejemplo, antigüedad de los equipos, escasa mantención, etc. por lo tanto, los valores entregados por estos y que son graficados para los análisis son sólo de referencia, que pueden o no acercarse a la realidad. Según algunos ensayos extraoficiales realizados para verificar los equipos, los valores indicados son superiores a los reales (que tan superiores son depende de cada equipo).

### 6.2.3 Acciones para Controlar los Eventos de Bulking y Espumas Planta El Monte

Para controlar los eventos de espumas durante el periodo de seguimiento se utilizó antiespumante, para lo cual se enviaron tres consignas de aplicación, detalladas en la **Tabla 6.5**.

**Tabla 6.5** Consignas para el control de espumas, El Monte periodo seguimiento 2012.

<b>Fecha</b>	<b>Caudal aplicación L/h</b>	<b>Tiempo aplicación h/día</b>	<b>SRB bajo aplicación</b>	<b>Duración aplicación días</b>
<b>08.06.12</b>	42	2	1	14
<b>22.06.12</b>	42	2	1	14
<b>16.07.12</b>	42	2	1	14

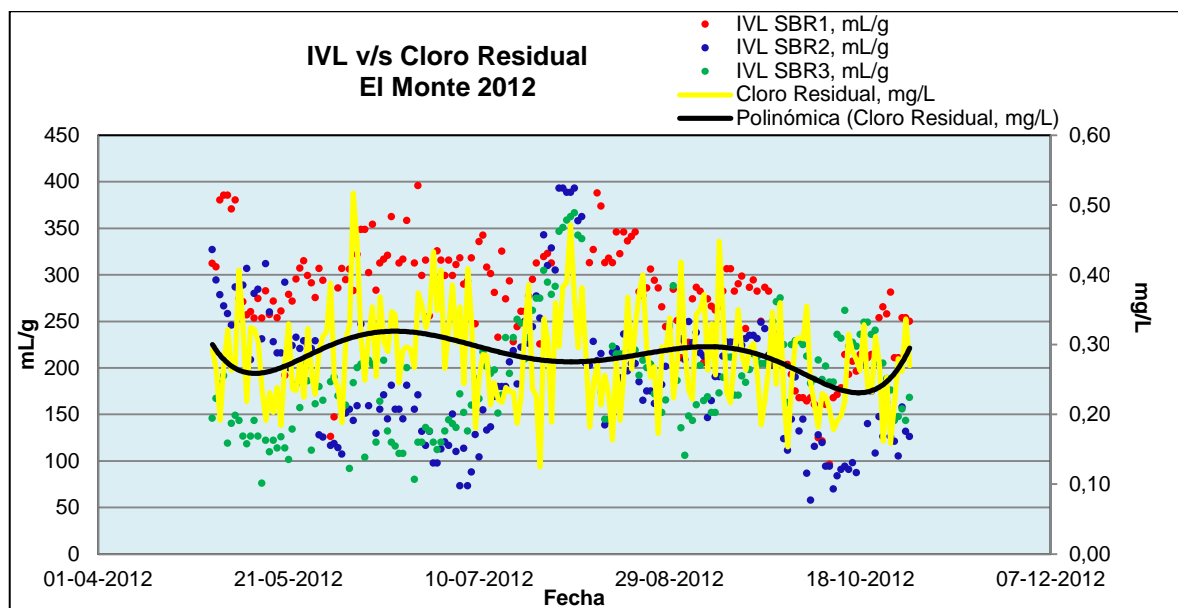
Para el control bulking no se enviaron consignas, ya que la línea de aplicación del SBR1 (reactor que se encontraba con problemas de bulking) se encontraban defectuosas.

Los consumos totales y costos de estos productos serán tratados en el capítulo análisis de costos.

## 6.2.4 Efectos de los Eventos Ocurridos Planta El Monte

En este caso no resulta tan fácil realizar el análisis de los datos, ya que existen tres reactores, los que además tienen una variabilidad del IVL muy dispar. Sin embargo las observaciones se realizarán de acuerdo al o los SBR más influyentes en la variable.

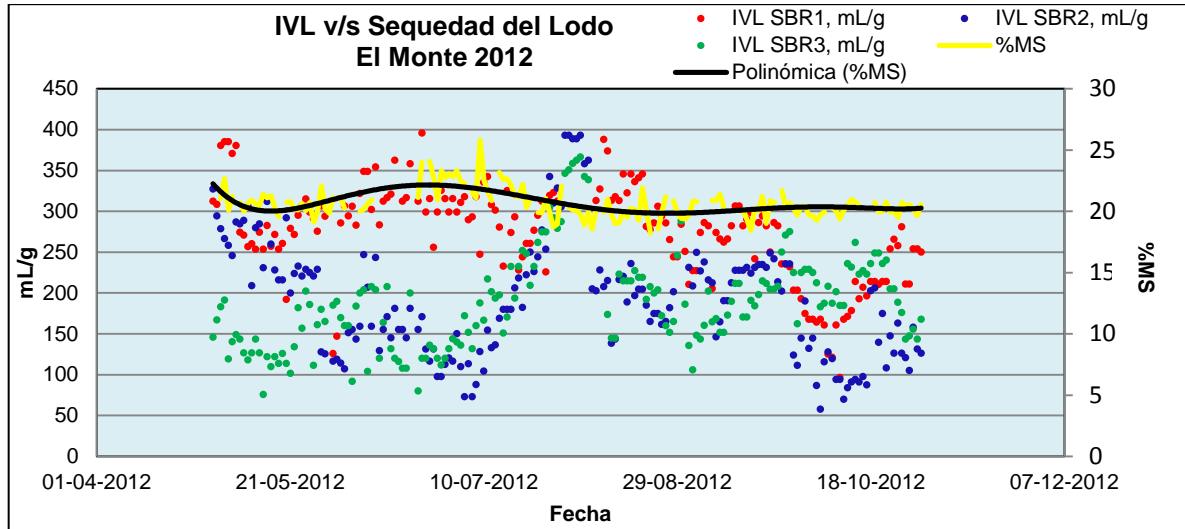
En la **Figura 6.30** se observa entre los meses de Julio y Agosto un evento de bulking que interfiere en el cloro residual, cuyo aumento del IVL por consecuencia de las mantenciones de las unidades biológicas, afecta en la calidad del efluente, siendo necesario consumir mayor cantidad de hipoclorito de sodio en la desinfección lo que produce una baja del cloro residual.



**Figura 6.30** Efectos del aumento del IVL sobre el cloro residual, durante periodo de seguimiento 2012, El Monte.

En la **Figura 6.31** se observa que durante el mismo periodo de Julio y Agosto, donde se suscita un evento generalizado de bulking por las mantenciones de los reactores, se ve afectada la sequedad del lodo, la cual disminuye de acuerdo aumentan los valores de IVL de los reactores. Esto se debe a que el lodo enviado a deshidratación contiene mayor cantidad

de líquido debido a una mala sedimentabilidad, por consecuencia esta actividad resulta menos eficiente y el %MS disminuye.



**Figura 6.31** Efectos del aumento del IVL sobre la sequedad del lodo, durante periodo de seguimiento 2012, El Monte.

## 6.3 San José de Maipo

### 6.3.1 Resultados del Seguimiento Microscópico Planta SJM

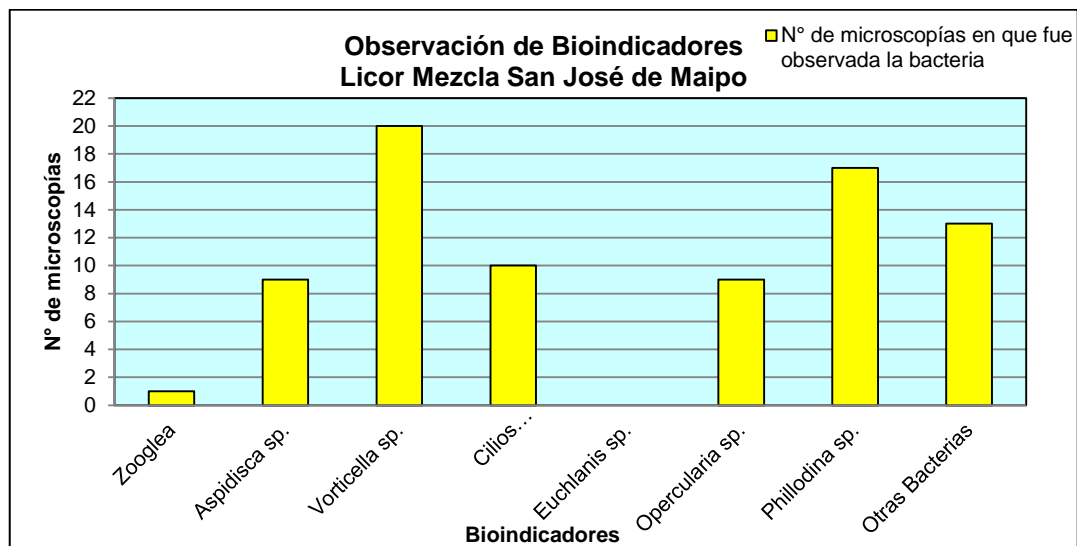
Se realizaron *veinte* microscopías al reactor biológico continuo en este caso, de donde se obtuvieron los siguientes resultados (El detalle de estas está indicado en el capítulo 11 Anexos, "*B. Detalle del Seguimiento Microscópico, B.3 San José de Maipo*"):

De acuerdo a las **Figuras 6.32** y **6.33** podemos realizar las siguientes observaciones para el Licor mezcla del reactor biológico:

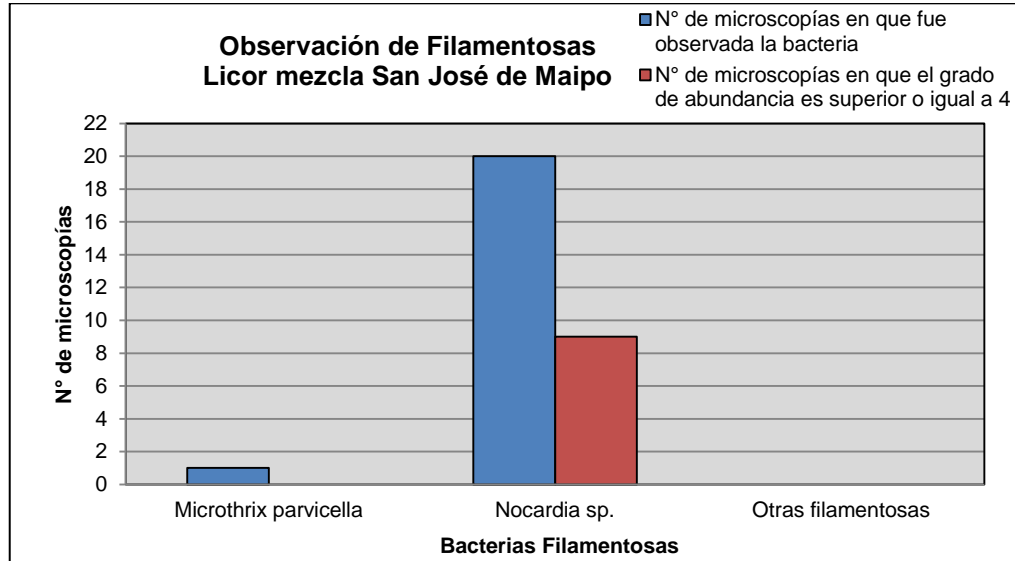
1. Se observa gran cantidad de *Vorticella* sp. lo que indica que se tiene buena calidad del efluente, además de mantener el lodo estable como lo indica la *Phillodina* sp., no

se observa en gran cantidad bioindicadores de buena floculación como *Aspidisca* sp. o *Zooglea* sp. esto se debe a que esta planta tiene efectivamente problemas de floculación, debido principalmente a que existe una sobre agitación mecánica.

2. Existe presencia de *Opercularia* sp. y cilios vacíos de *Vorticella* sp. estos son indicadores de toxicidad o falta de oxígeno. Esta planta tiene la particularidad de contar con aireadores superficiales (2 unidades) esto produce puntos muertos debido a la geometría del reactor y la disposición de estos equipos. Esto último causa que exista déficit de oxígeno disuelto en el lodo, justificando la presencia de los bioindicadores nombrados y que no proliferen microorganismos como *Euchlanis* sp. que indican buena oxigenación.
3. Se observa que la presencia de otras bacterias es más baja que en otras plantas, esto se debe principalmente a la falta de oxígeno. Esta falta de microorganismos también ocasiona que no haya buena floculación, ya que son necesarios para que esto ocurra.
4. En cuanto a las bacterias filamentosas se observa que la *Nocardia* sp. se mantiene constante durante todas las microscopías, existiendo una preponderancia a la formación de espumas superficiales, no es así el caso del la *M. parvicella*, ya que se observa en muy pocos casos y con baja abundancia.



**Figura 6.32** Observación de bioindicadores en licor mezcla, PTAS SJM.



**Figura 6.33** Observación de filamentosas en licor mezcla, PTAS SJM.

Durante el periodo de seguimiento se obtuvieron *diecisiete* muestras con espumas, las que corresponden a espumas superficiales permanentes durante todo el periodo de seguimiento, sólo ocurrió un receso de estas durante tres semanas, desde el día 31.08.2012 hasta el 12.09.2012, luego estas volvieron a proliferar.

De acuerdo a las **Figuras 6.34** y **6.35** que grafican los resultados de todos los análisis, podemos realizar las siguientes observaciones para la espuma formada en el reactor biológico:

1. En general no se observa gran cantidad de buenos bioindicadores, sin embargo, existe una preponderancia de *Vorticella* sp. y *Phillodina* sp. lo que indica que hay una gran cantidad de estos bioindicadores, lo que mantiene un buen efluente y el lodo estable.
2. Se observa la presencia de malos bioindicadores como *Opercularia* sp. y cilios de *Vorticella* sp. indicando que su abundancia era alta como para que estos microorganismos fijos (no tienen movilidad) estén presentes en la espuma superficial, esto indica que los problemas de bulking y espumas son causados por falta de oxígeno principalmente.

3. Se observa en la totalidad de las muestras la presencia de *Nocardia* sp. la que además tiene una alta abundancia en cada uno de los análisis, indicando que su sobre proliferación es la causante de las espumas superficiales.

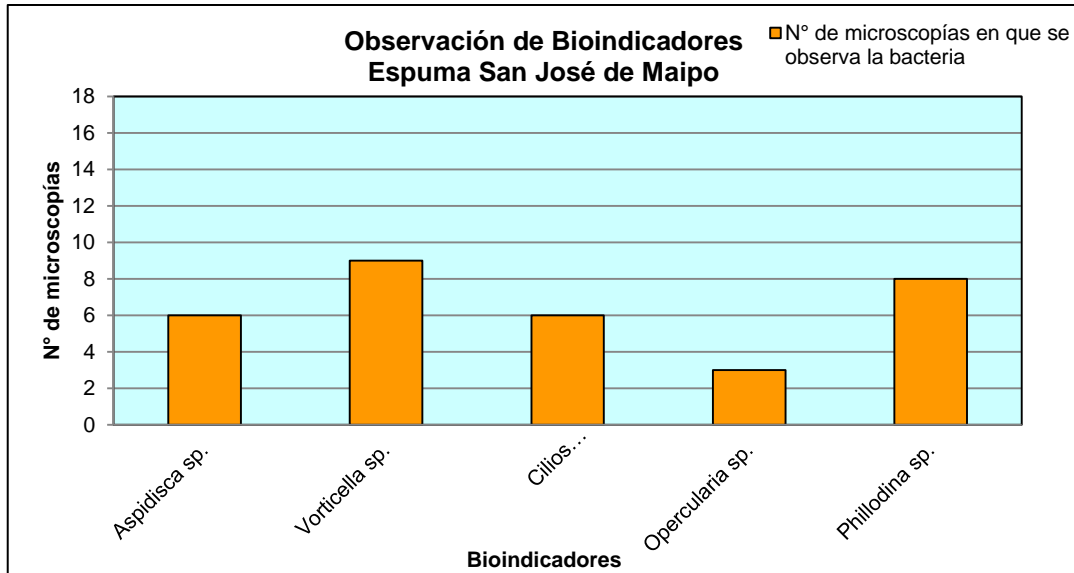


Figura 6.34 Observación de bioindicadores en espuma, PTAS SJM.

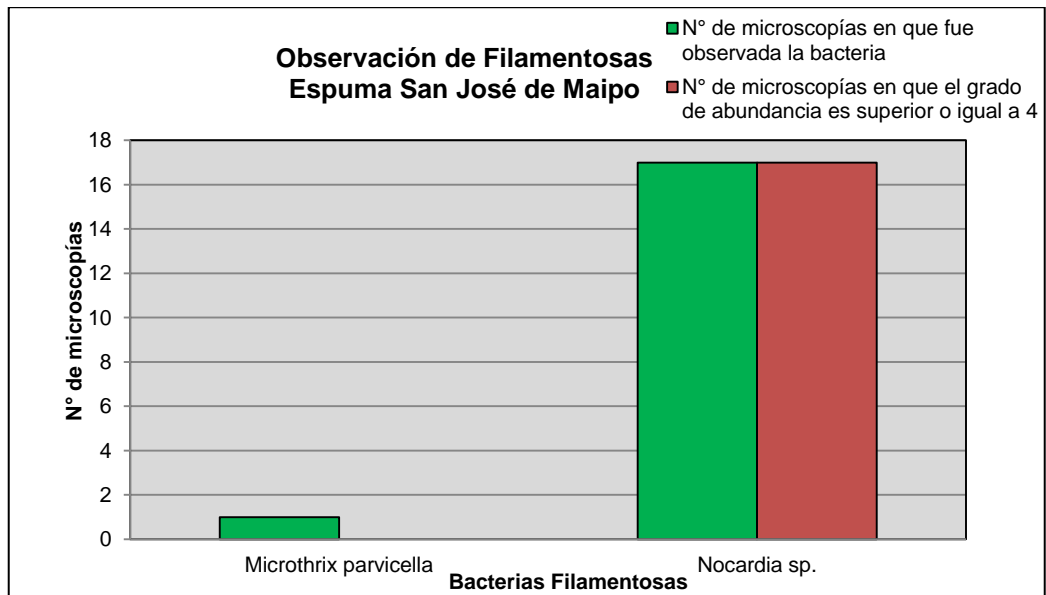


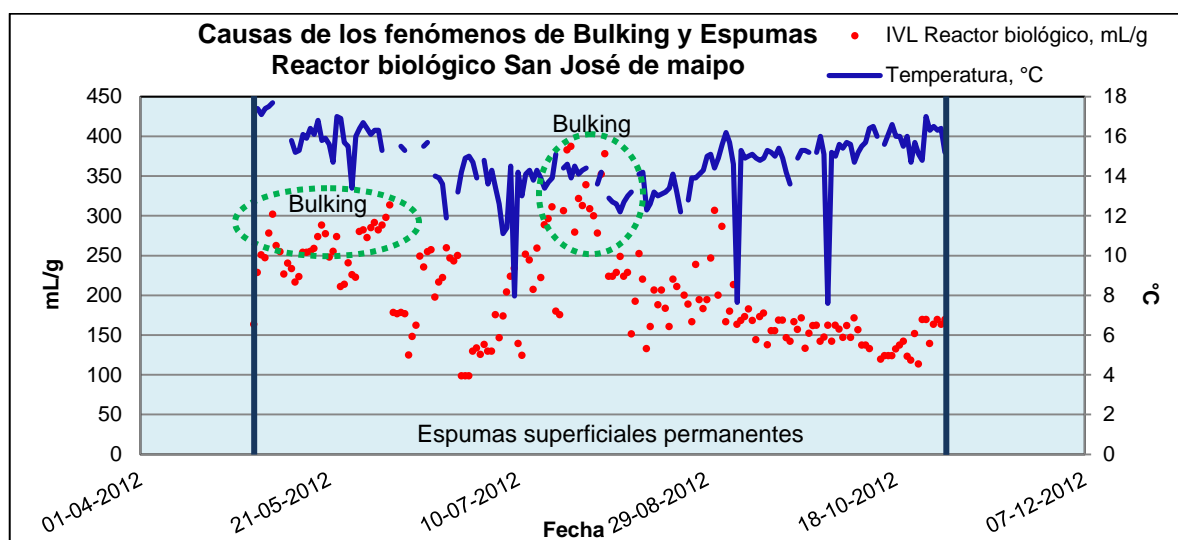
Figura 6.35 Observación de filamentosas en espuma, PTAS SJM.



### 6.3.2 Comparación Antecedentes 2012 Planta SJM

Al observar la **Figura 6.36** se pueden apreciar dos eventos de bulking filamentoso con una duración de 33 y 19 días respectivamente, además de un par de IVL sobre 250 mL/g que corresponden a casos aislados. Podemos notar también que las espumas superficiales son permanentes y estables en el tiempo. Las bajas temperaturas también se mantienen constantes por lo que se infiere que esta es una de las causas principales de la ocurrencia de ambos fenómenos.

En las bitácoras CCOD no existe información sobre ingresos de RILes durante el periodo de seguimiento, sin embargo, esto no significa que no hayan entrado algunos tóxicos, ya que la presencia de cilios vacíos de *Vorticella* sp. y *Opercularia* podrían ser indicadores de tal causa.



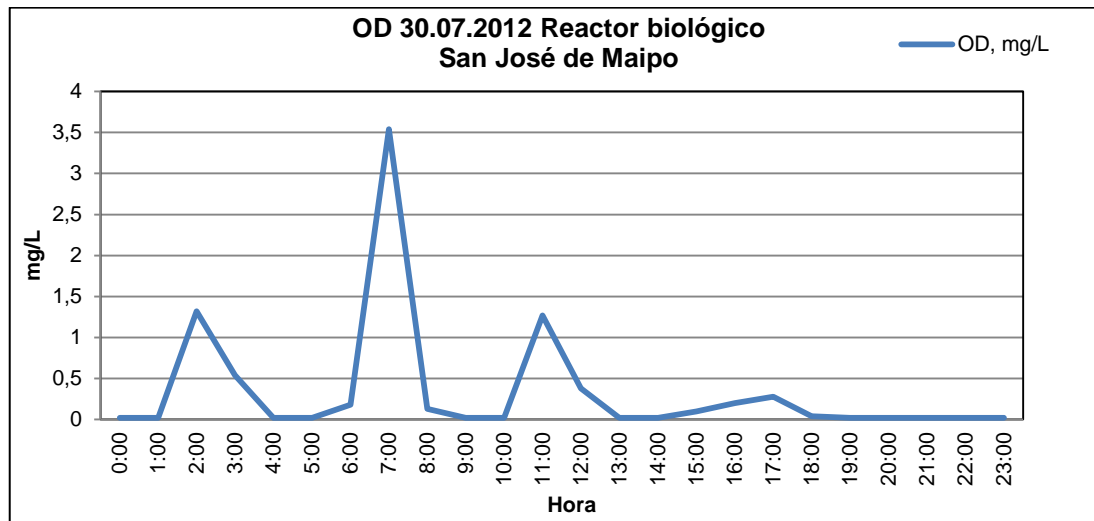
**Figura 6.36** Causas de los fenómenos de bulking y espumas, SJM 2012.

Para analizar la oxigenación del reactor biológico se consideraron los datos de un día arbitrario correspondiente al 30.07.12, graficados en la **Figura 6.37**. Este gráfico es distinto a los vistos anteriormente en las otras PTAS, debido a la consideración realizada en el capítulo 4 Descripción de las Plantas, "4.3.1 Reactor con Alimentación Continua", donde se indica

que la oxigenación se lleva a cabo mediante un mecanismo denominado OGAR que controla el arranque y detención de la inyección de aire por medio de la señal redox y no a ciclos de aireación. Por esto último se generan *peaks* de OD similares al umbral redox (**Figura 2.4**).

Entonces si observamos la **Figura 6.37**, notamos que existen cuatro *peaks*, muy distintos entre si, lo que indica que se tiene una aireación inestable, además en tres de estos no se alcanza el mínimo de OD requerido (1,5 mg/L). Esto último justifica la presencia de *Opercularia* sp. y cilios vacíos de *Vorticella* sp. que crecen en ambientes carentes de oxígeno.

Esta situación de falta e inestabilidad de OD constante puede resultar ser la causante de las espumas superficiales estables, ya que las bacterias se mantienen en constante situación de estrés.



**Figura 6.37** Oxígeno disuelto 30.07.2012, SJM.

### 6.3.3 Acciones para Controlar los Eventos de Bulking y Espumas Planta SJM

Para controlar los eventos de bulking y espumas durante el periodo de seguimiento se utilizó Hipoclorito de sodio y antiespumante respectivamente, para lo cual se enviaron cinco consignas de control bulking y tres para las espumas, detalladas en la **Tabla 6.6** y **6.7**.

**Tabla 6.6** Consignas para el control bulking, San José de Maipo periodo seguimiento 2012.

<b>Fecha</b>	<b>Dosis gCl/KgSSVLM</b>	<b>Caudal aplicación L/h</b>	<b>Tiempo aplicación h/día</b>	<b>Duración aplicación días</b>
<b>25.05.12</b>	3	4,5	18	14
<b>18.07.12</b>	3	4,5	16	14
<b>02.08.12</b>	3	4,5	16	14
<b>18.08.12</b>	3	4,5	16	14
<b>01.09.12</b>	3	4,5	16	10

**Tabla 6.7** Consignas para el control de espumas, San José de Maipo periodo seguimiento 2012.

<b>Fecha</b>	<b>Caudal aplicación L/h</b>	<b>Tiempo aplicación h/día</b>	<b>Duración aplicación días</b>
<b>02.08.12</b>	42	2	14
<b>18.08.12</b>	42	2	14
<b>04.09.12</b>	42	2	7

Los consumos totales y costos de estos productos serán tratados en el capítulo análisis de costos.

## **OBSERVACIÓN**

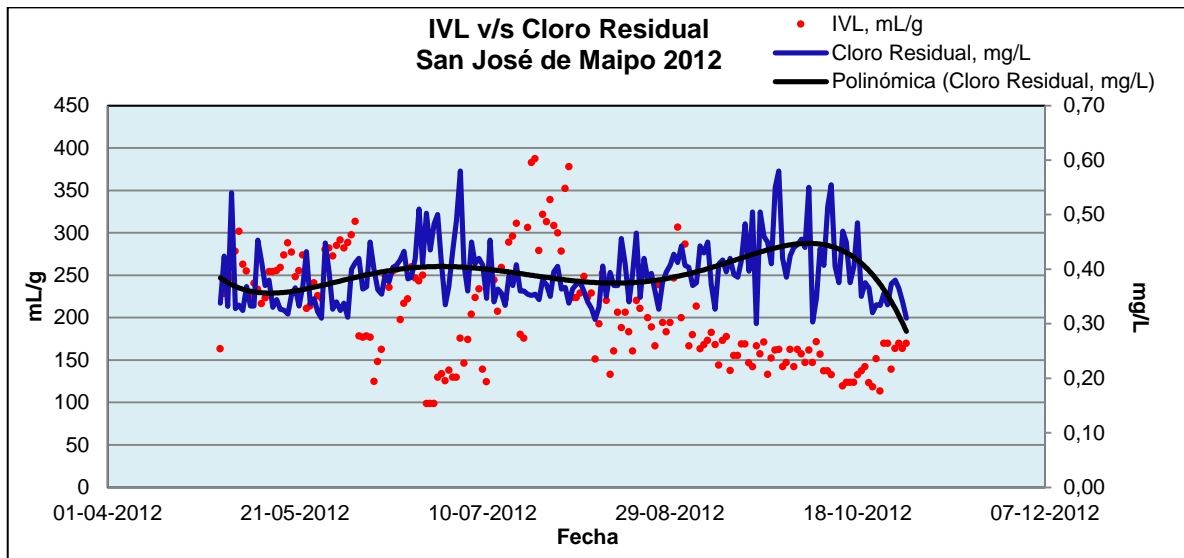
Durante el seguimiento a la PTAS San José de Maipo, se logró eliminar las espumas desde el 31.08.12 hasta aproximadamente el 23.09.12, donde también se tuvo bajo control el bulking, esto debido a la aplicación de Hipoclorito de sodio y antiespumante, los que se deben aplicar en conjunto para mayor efectividad en el control de las espumas. Este éxito en

la eliminación de ambos fenómenos de debió principalmente a que personal de operaciones ejecutó de forma íntegra las consignas enviadas por ACAL, y para prolongar estos resultados es importante mantener el buen estándar operativo.

Como se menciona en capítulo 4 Descripción de las Plantas, "4.6 Sistemas de Control *Bulking y Espumas*", la correcta ejecución de la aplicación de productos es responsabilidad del personal de operaciones. El área de calidad de Aguas Andinas S.A no fiscaliza exhaustivamente que esto se realice íntegramente, debido a esto resulta común que no se apliquen los productos prolijamente resultando poco eficiente el control de ambos fenómenos.

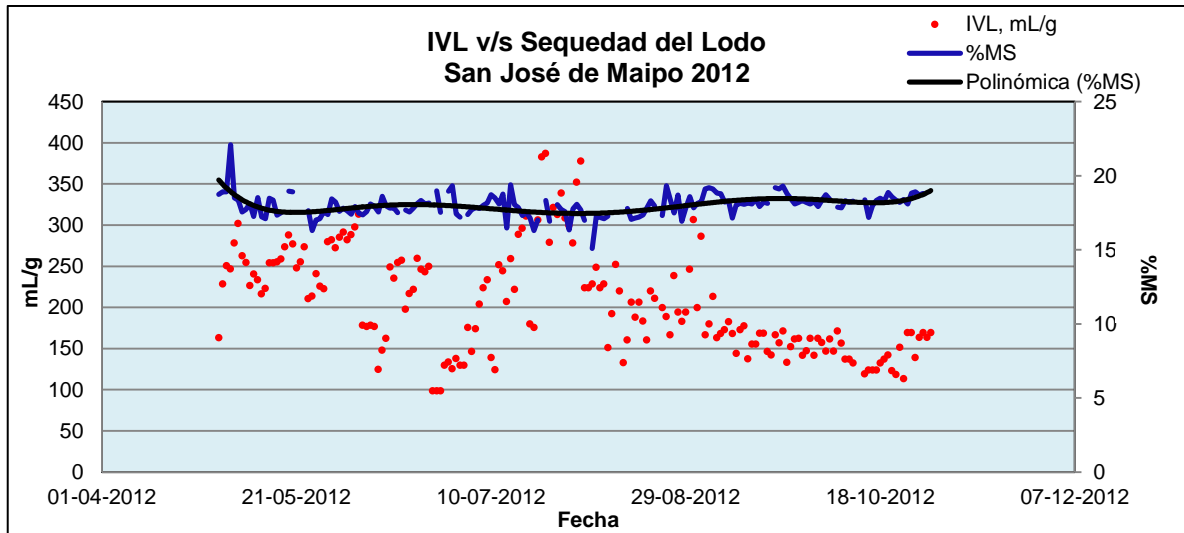
### 6.3.4 Efectos de los Eventos Ocurridos Planta SJM

En la **Figura 6.38** se observa que durante los dos eventos de bulking el cloro residual sufre una baja en su valor. Esto último indica que cada vez que aumenta el IVL se necesita mayor cantidad de hipoclorito de sodio para desinfectar el agua tratada debido a la deficiente separación sólido-líquido (sedimentación).



**Figura 6.38** Efectos del aumento del IVL sobre el cloro residual, durante periodo de seguimiento 2012, San José de Maipo.

Con respecto a la sequedad del lodo deshidratado, en la **Figura 6.39** se observa que a medida que el valor de IVL aumenta el porcentaje de materia seca disminuye indicando que el lodo presenta mayor cantidad de agua, esto debido a que la separación sólido-líquido en el reactor biológico no fue eficiente, ya que la sobre proliferación de bacterias filamentosas dificultó la floculación.



**Figura 6.39** Efectos del aumento del IVL sobre la sequedad del lodo, durante periodo de seguimiento 2012, El Monte.

## 6.4 Estudio de Caso: Til-Til

Para poder establecer que la observación microscópica de los bioindicadores elegidos es un buen método para anticiparnos, conocer causas y controlar el bulking y las espumas, es necesario realizar un estudio de caso (idealmente debería ser a todas las plantas en análisis pero por asuntos operativos no es posible) que nos permita reconocer la efectividad de nuestras propuestas.

La planta de tratamiento de aguas servidas seleccionada fue Til-Til, debido a que es emblemática en cuanto al ingreso de RILes (según bitácora CCOD, 117 ingresos durante el año 2012, provenientes principalmente del proceso de las aceitunas) y la formación de espumas superficiales.

A esta planta no se le realizó un seguimiento por seis meses como a las otras, más bien, se trabajó con un evento de espumas que se suscitó a mediados del mes de Agosto y de ahí se comenzó con una serie de microscopías y medidas para mitigar el problema. Se realizaron siete microscopías al licor mezcla y un par a las espumas.

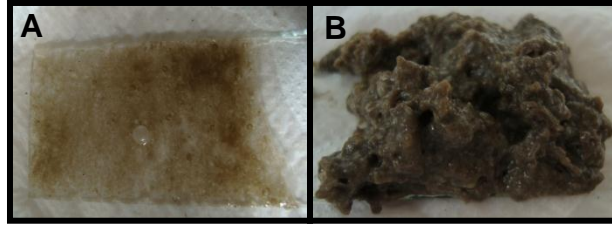
Para poder explicar de forma clara el estudio de caso, se realizará un análisis por cada microscopía realizada, entregando detalles de los bioindicadores, OD, aplicación de productos, etc.

### 6.4.1 Microscopía N°1: 17.08.2012

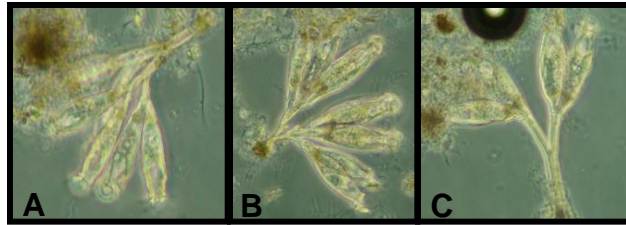
En la **Tabla 6.8** y **Figuras 6.40** y **6.41** se observan los resultados del primer análisis microscópico.

**Tabla 6.8** Resultados microscopía N°1, estudio de caso Til-Til 2012.

Fecha Microscopía	Muestra SBR 1		Muestra SBR 2	
	Licor mezcla	Espuma	Licor Mezcla	Espuma
17.08.2012	Si	Si	Si	Si
Observación Microscopía				
<b>Filamentos (Grado abundancia)</b>	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	M. parvicella/2 Nocardia sp./4	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	M. parvicella/2 Nocardia sp./4
<b>Bioindicadores (Abundancia)</b>	Opercularia sp. Moderada	-	Opercularia sp. Baja	Opercularia sp. Baja
Otras Observaciones				
<b>IVL (mL/g)</b>	226 mL/g No Bulking	-	163 mL/g No Bulking	-
<b>Características Físicas</b>	-	Espuma Líquida, color oscuro aceitosa.	de café y	Espuma grumosa, compacta y color café oscuro

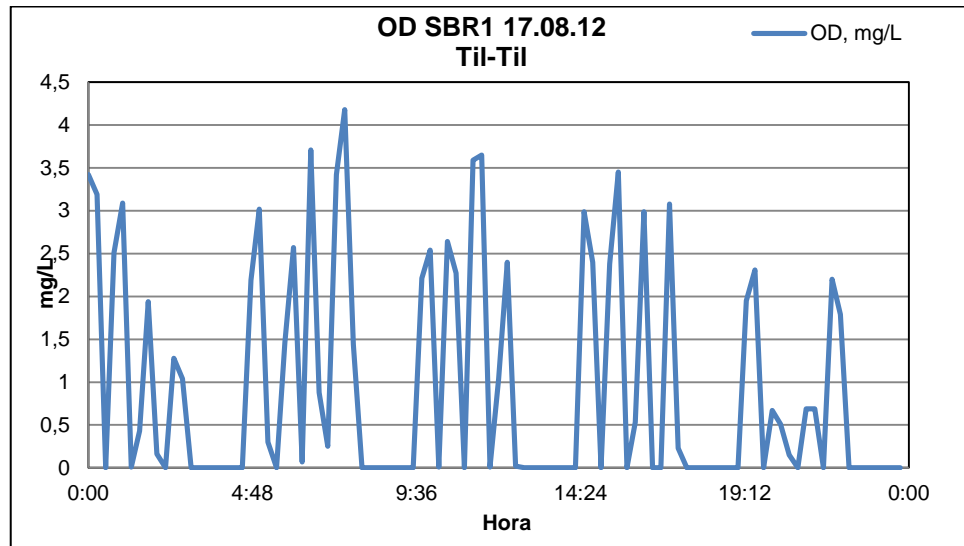


**Figura 6.40** A) Espuma SBR1 y B) Espuma SBR2.

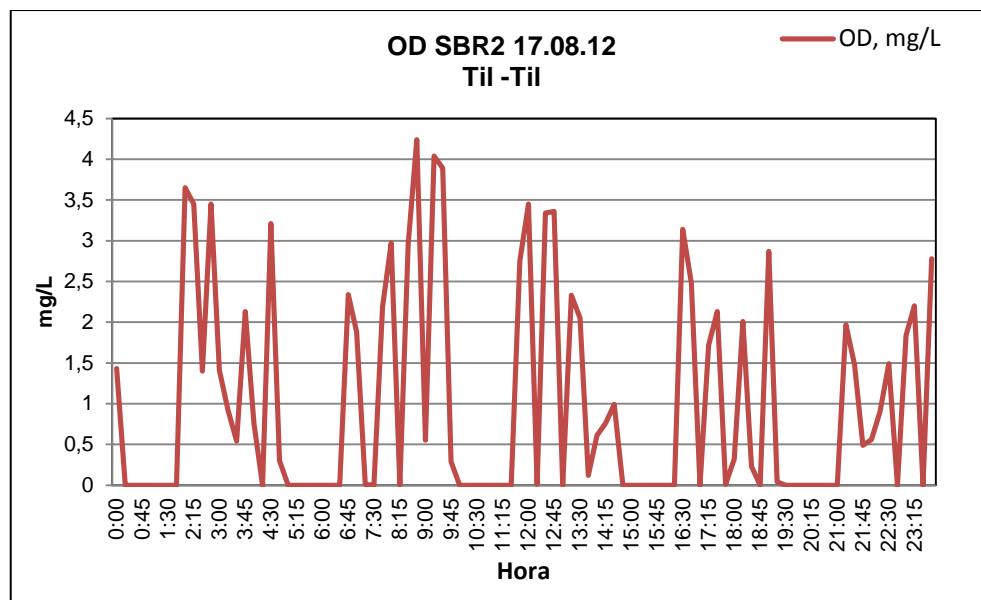


**Figura 6.41** A) Opercularia sp. SBR1, B) Opercularia sp. SBR2 y C) Opercularia sp. espuma SBR2.

Los datos de oxígeno disuelto se pueden observar en las **Figuras 6.42** y **6.43**.



**Figura 6.42** Oxígeno disuelto SBR1 17.08.12 Til-Til.



**Figura 6.43** Oxígeno disuelto SBR2 17.08.12 Til-Til.

**RIL:** No existe registro de ingreso de RIL para este día en bitácora CCOD.

Considerando toda la información recabada en este primer análisis podemos dar cuenta de que no hay problemas de bulking filamentoso, sin embargo existen espumas superficiales en ambos reactores, las que se encuentran en estado inicial y avanzadas para los SBR1 y SBR2 respectivamente.

La aireación no es estable lo que justifica la presencia de *Opercularia* sp. en ambos reactores, no obstante, en la mayoría de los ciclos entrega la cantidad de oxígeno necesario (recordar que los sensores OD indican valores mayores al real).

De acuerdo a lo anterior, sólo debemos atacar la espuma superficial en las dos unidades biológicas, para esto se debe aplicar Antiespumante y paralelamente también hipoclorito de sodio, ya que, de esta forma, se disuelven las espumas integrando las bacterias al licor mezcla las que posteriormente se eliminan por la acción del bactericida.

En la **Tabla 6.9** se indican las consignas de aplicación enviadas por ACAL



**Tabla 6.9** Consignas de aplicación de productos químicos, microscopía N°1, Til-Til.

Químico	Dosis	Caudal aplicación	Tiempo	Duración	SBR
Hipoclorito	3 gCl/KgSSVLM	25 L/h	60 min/día*	10 días	1 y 2
Antiespumante	-	42 L/h	80 min/día**	10 días	1 y 2

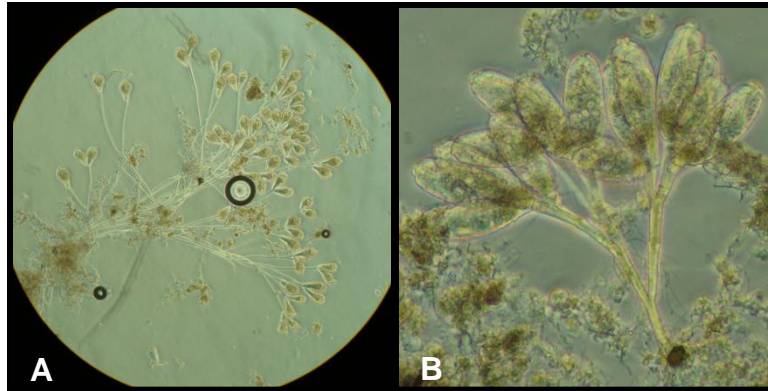
\* 1 vez por día, \*\* 2 veces por día, 40 min c/aplicación.

#### 6.4.2 Microscopía N°2: 24.08.2012

En la **Tabla 6.10** y **Figuras 6.44** se observan los resultados del segundo análisis microscópico.

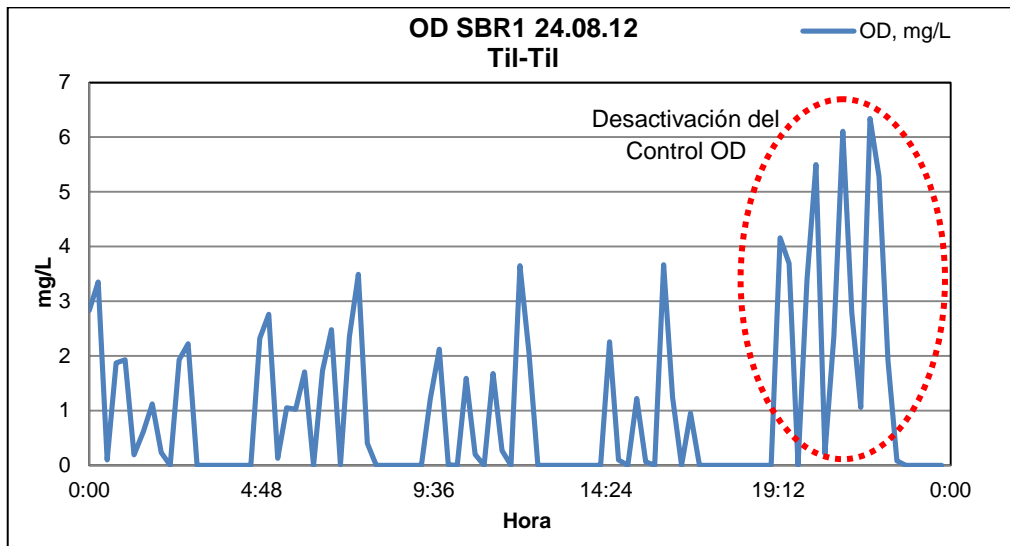
**Tabla 6.10** Resultados microscopía N°2, estudio de caso Til-Til 2012.

Fecha Microscopía	Muestra SBR 1		Muestra SBR 2	
	Licor mezcla	Espuma	Licor Mezcla	Espuma
24.08.2012	Si	Sin espuma	Si	Sin espuma
Observación Microscopía				
<b>Filamentos (Grado abundancia)</b>	M. parvicella/2 Nocardia sp./2 a 3	-	M. parvicella/2 Nocardia sp./3 a 4	-
<b>Bioindicadores (Abundancia)</b>	Opercularia sp. Alta	-	Opercularia sp. Alta	-
Otras Observaciones				
<b>IVL (mL/g)</b>	206 mL/g No Bulking	-	237 mL/g No Bulking	-
<b>Características Físicas</b>	-	-	-	-

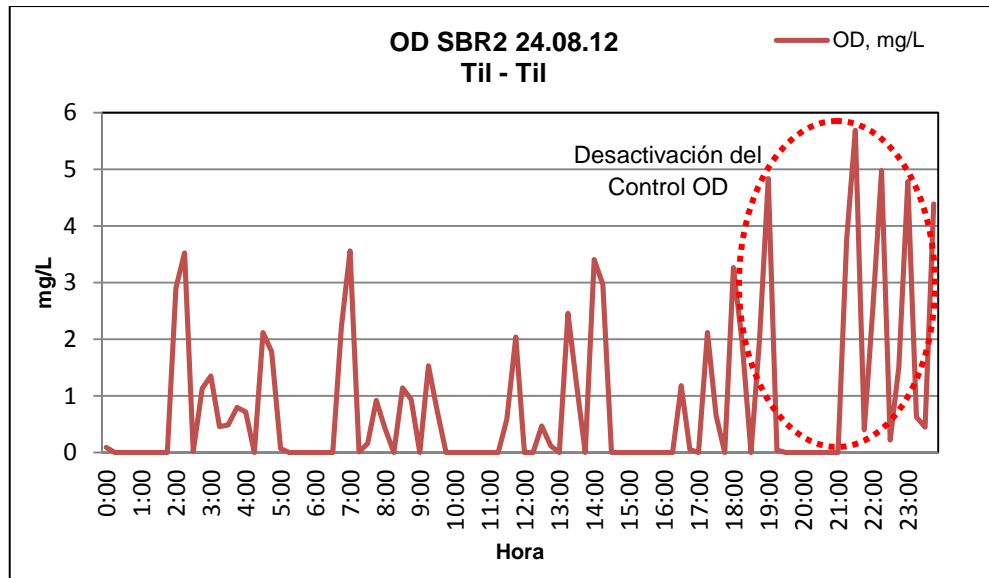


**Figura 6.44 A)** Opercularia sp. SBR1 y **B)** Opercularia sp. SBR2.

Los datos de oxígeno disuelto se pueden observar en las **Figuras 6.45 y 6.46**.



**Figura 6.45** Oxígeno disuelto SBR1 24.08.12 Til-Til.



**Figura 6.46** Oxígeno disuelto SBR2 24.08.12 Til-Til.

**RIL:** Se envía un aviso de anomalía de procesos, debido a la observación de una capa oleosa sobre casi la totalidad de la superficie SBR2, y parte de la superficie del SBR1.

Considerando la información obtenida en este segundo análisis, observamos que no hay problemas de bulking y la aplicación de consignas resultó efectiva ya que se logró eliminar las espumas superficiales en ambos reactores.

Sin embargo, el ingreso de RIL y el crecimiento de *Opercularia* sp., además de los valores de OD bajos para ambos reactores nos hace suponer que las espumas pueden volver a proliferar. Para evitar esto, se consideran dos acciones, primero se extiende la consigna de aplicación de antiespumante por tres días y segundo se realiza la desactivación del control de oxígeno disuelto, es decir, se cambia de control automático a manual, por lo cual se airean los reactores durante los 24 minutos de cada sub ciclo y no se respetan los seteos de los sensores (nivel alto 3,5, nivel de seteo 2,5 y nivel bajo 1,5 mg/L) aumentando considerablemente la concentración del OD en las unidades biológicas. Esta última actividad se contempló por cuatro días para su posterior evaluación. En la **Figuras 6.45** y **6.46** se observa el aumento significativo de la concentración de OD sin el sistema de control automático, sin embargo esto tiene un costo energético mayor.

### 6.4.3 Microscopía Extra: 29.08.2012

Se realizó la observación microscópica a muestras de licor mezcla de ambos reactores, donde se obtuvo los siguientes resultados:

- **Filamentosa:**  
Gran cantidad de Nocardia sp.
- **Bioindicadores:**  
Opercularia sp. y cilios vacíos de Vorticella sp. ambos con alta abundancia.
- **Ingreso de RIL:**  
Presencia de RIL en SBR2.

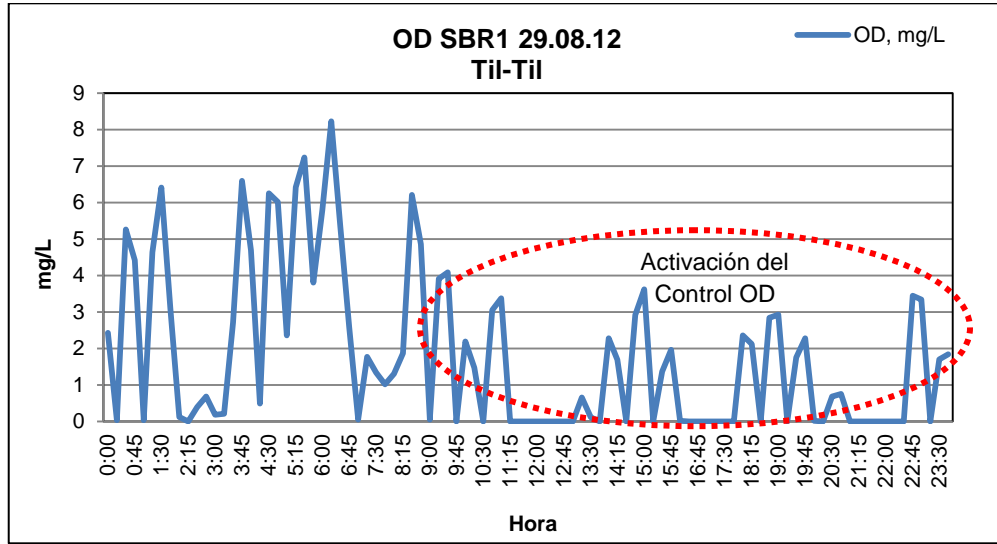
Para eliminar la sobre proliferación de Nocardia sp. y evitar que se formen espumas se envió condigna para la aplicación de Hipoclorito de sodio, indicado en la **Tabla 6.11**.

**Tabla 6.11** Consignas de aplicación de productos químicos, microscopía extra, Til-Til.

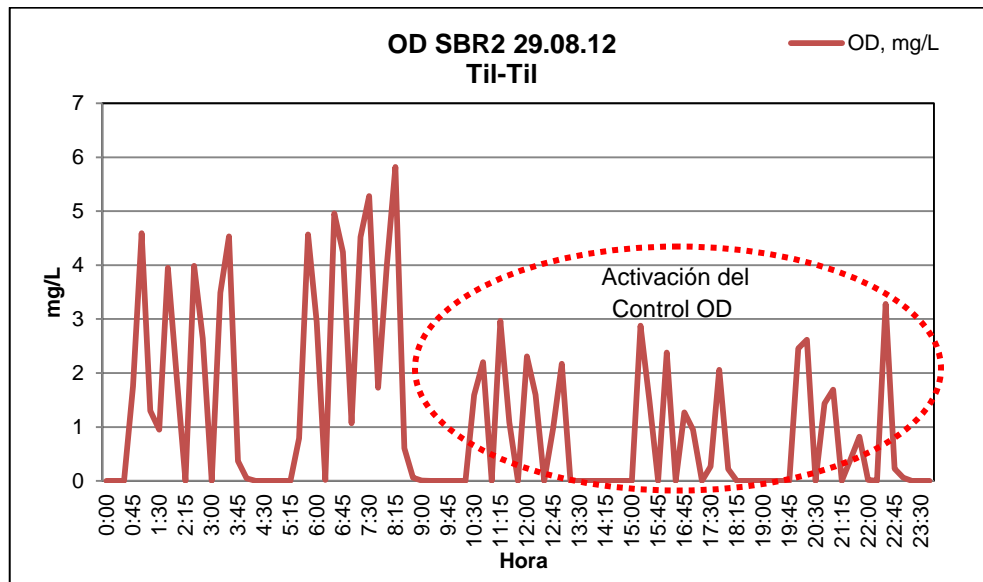
Químico	Dosis	Caudal Aplicación	Tiempo	Duración	SBR
Hipoclorito	3 gCl/KgSSVLM	25 L/h	60 min/día*	10 días	1 y 2

\* 1 vez por día

Debido a que no existe espuma superficial en ninguno de los reactores biológicos, no se aplica antiespumante, y se decide volver al control automático del oxígeno disuelto. En las **Figuras 6.47 y 6.48** se observa el cambio de los *peaks* en los ciclos de aireación, debido a la reposición del control.



**Figura 6.47** Oxígeno disuelto SBR1 29.08.12 Til-Til.



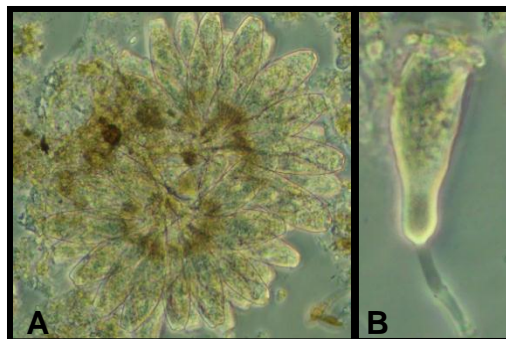
**Figura 6.48** Oxígeno disuelto SBR2 29.08.12 Til-Til.

#### 6.4.4 Microscopía N°3: 31.08.2012

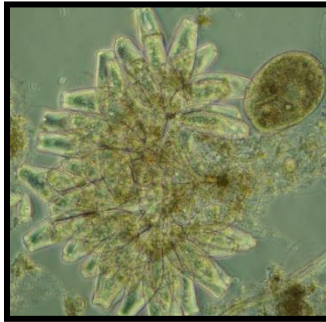
En la **Tabla 6.12** y **Figuras 6.49** y **6.50** se observan los resultados del tercer análisis microscópico.

**Tabla 6.12** Resultados microscopía N°3, estudio de caso Til-Til 2012.

Fecha Microscopía	Muestra SBR 1		Muestra SBR 2	
	Licor mezcla	Espuma	Licor Mezcla	Espuma
31.08.2012	Si	con espuma, sin muestra	Si	con espuma, sin muestra
Observación Microscopía				
<b>Filamentos (Grado abundancia)</b>	M. parvicella/1 Nocardia sp./3	-	M. parvicella/2 Nocardia sp./3	-
<b>Bioindicadores (Abundancia)</b>	Opercularia sp. Alta Cilios vacíos de Vorticella sp. Baja	-	Opercularia sp. Alta	-
Otras Observaciones				
<b>IVL (mL/g)</b>	126 mL/g No Bulking	-	114 mL/g No Bulking	-
<b>Características Físicas</b>	-	-	-	-



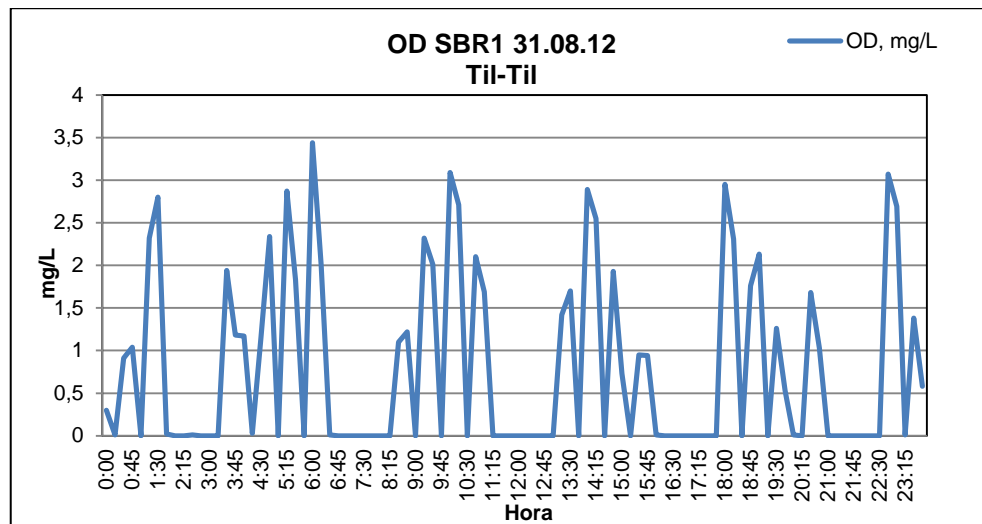
**Figura 6.49** A) Opercularia sp. SBR1 y B) Cilio vacío de Vorticella sp. SBR1.



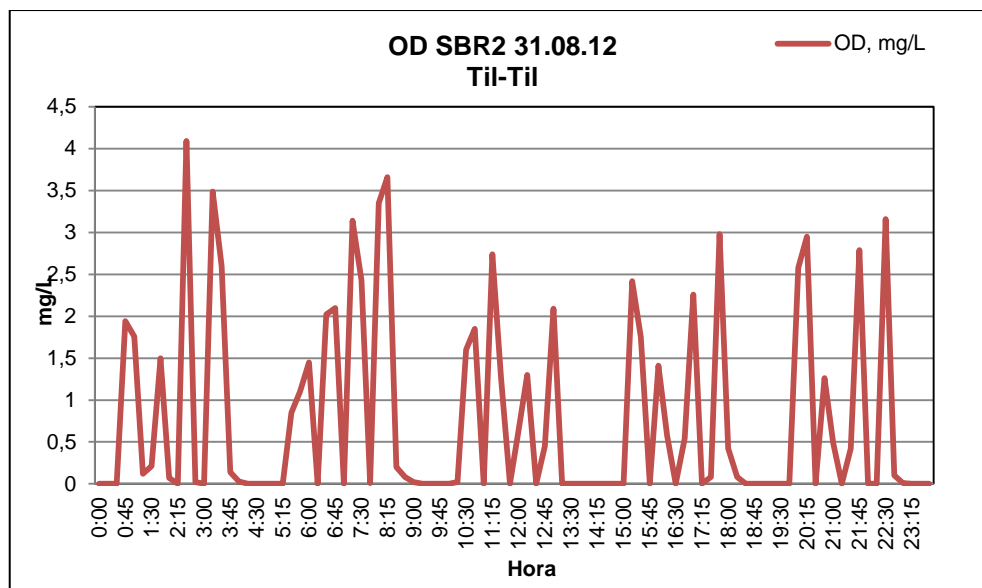
**Figura 6.50** Opercularia sp. SBR2.

**RIL:** Se registra en bitácora CCOD un ingreso de RIL sobre el SBR1.

Los datos de oxígeno disuelto se pueden observar en las **Figuras 6.51** y **6.52**.



**Figura 6.51** Oxígeno disuelto SBR1 31.08.12 Til-Til.



**Figura 6.52** Oxígeno disuelto SBR2 31.08.12 Til-Til.

Considerando la información obtenida en este tercer análisis se observa que no hay problemas de bulking, sin embargo las espumas superficiales volvieron a proliferar sobre ambos reactores. Esto pudo ocurrir por dos razones, el ingreso de RIL en el SBR1 y la falta de oxígeno disuelto en las dos unidades biológicas, cuya concentración disminuyó considerablemente una vez activado el control automático de la aireación. El crecimiento de *Opercularia* sp. y cilios vacíos de *Vorticella* en el SBR1 y *Opercularia* sp. en el SBR2 corroboran el análisis.

Para poder corregir el evento de espumas se enviaron consignas de aplicación de Hipoclorito de sodio y antiespumante indicados en la **Tabla 6.13**.

**Tabla 6.13** Consignas de aplicación de productos químicos, microscopía N°3, Til-Til.

Químico	Dosis	Caudal Aplicación	Tiempo	Duración	SBR
Hipoclorito	3 gCl/KgSSVLM	25 L/h	60 min/día*	10 días	1 y 2
Antiespumante	-	42 L/h	80 min/día**	7 días	1 y 2

\* 1 vez por día, \*\* 2 veces por día, 40 min c/aplicación.

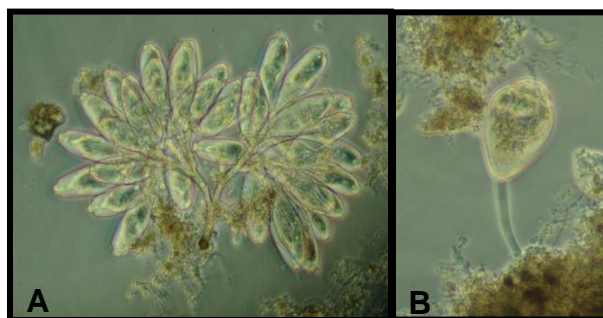


### 6.4.5 Microscopía N°4: 07.09.2012

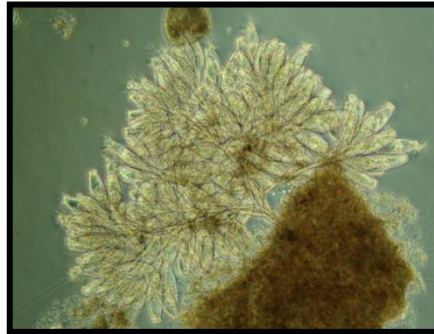
En la **Tabla 6.14** y **Figuras 6.53** y **6.54** se observan los resultados del cuarto análisis microscópico.

**Tabla 6.14** Resultados microscopía N°4, estudio de caso Til-Til 2012.

Fecha Microscopía	Muestra SBR 1		Muestra SBR 2	
	Licor mezcla	Espuma	Licor Mezcla	Espuma
07.09.2012	Si	Sin espuma	Si	Sin espuma
Observación Microscopía				
<b>Filamentos (Grado abundancia)</b>	Nocardia sp. 2 - 3	-	Nocardia sp. 2 - 3	-
<b>Bioindicadores (Abundancia)</b>	Opercularia sp. Alta Cilios vacíos de Vorticella sp. Moderada	-	Opercularia sp. Moderada	-
Otras Observaciones				
<b>IVL (mL/g)</b>	87 mL/g No Bulking	-	76 mL/g No Bulking	-
<b>Características Físicas</b>	-	-	-	-



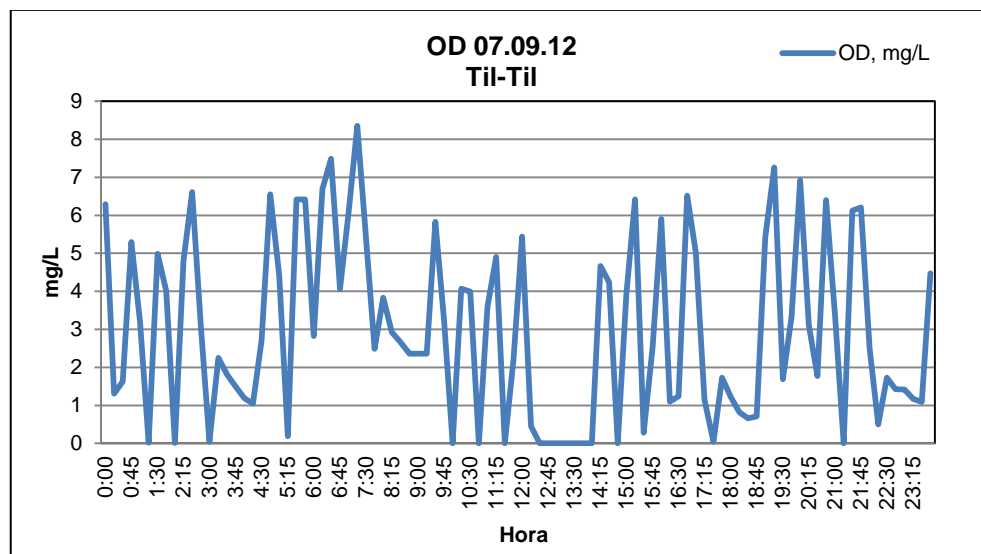
**Figura 6.53** A) Opercularia sp. SBR1 y B) Cilio vacío de Vorticella sp. SBR1.



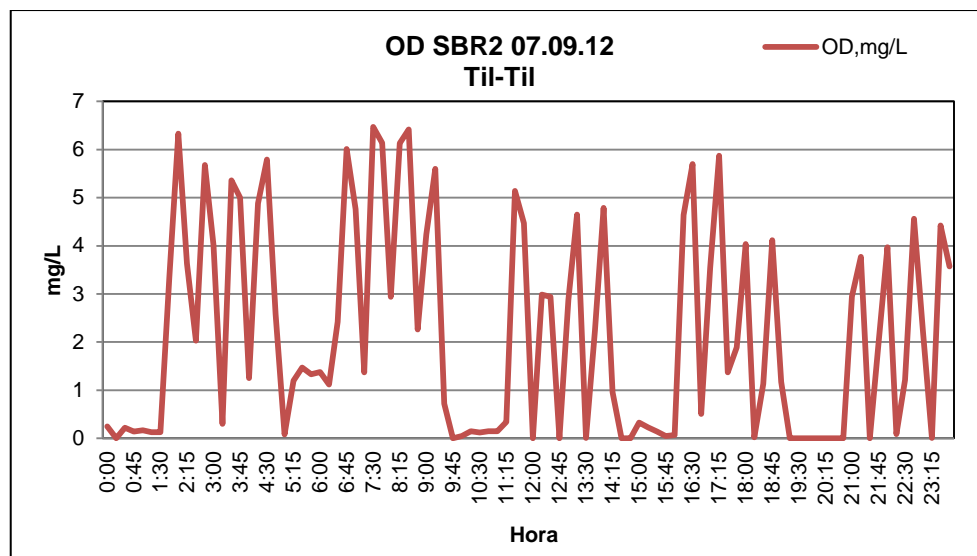
**Figura 6.54** Opercularia sp. SBR2.

**RIL:** Se registra en bitácora CCOD un ingreso de RIL sobre ambos reactores biológicos.

Los datos de oxígeno disuelto se pueden observar en las **Figuras 6.55** y **6.56**.



**Figura 6.55** Oxígeno disuelto SBR1 07.09.12 Til-Til.



**Figura 6.56** Oxígeno disuelto SBR2 07.09.12 Til-Til.

Desde día 04.09.12 se volvió a desactivar el control automático del oxígeno disuelto en ambos reactores, es por esto que se puede observar en las **Figuras 6.55** y **6.56** (cinco días después) concentraciones de OD altas. Esto eliminó las espumas que habían vuelto a proliferar (evidenciado en la microscopía N°3).

Sin embargo, en este análisis se observó *Opercularia* sp. y cilios vacíos de *Vorticella* sp. en el SBR1 y *Opercularia* en el SBR2, debido al ingreso de RIL tanto en los días anteriores como en el día de la microscopía.

Para evitar que vuelva a aparecer espuma, se enviaron consignas de aplicación de productos químicos. Estas están indicadas en la **Tabla 6.15**.

**Tabla 6.15** Consignas de aplicación de productos químicos, microscopía N°4, Til-Til.

Químico	Dosis	Caudal Aplicación	Tiempo	Duración	SBR
Hipoclorito	3 gCl/KgSSVLM	25 L/h	60 min/día*	10 días	1 y 2
Antiespumante	-	42 L/h	40 min/día**	7 días	1 y 2

\* 1 vez por día, \*\* 2 veces por día, 40 min c/aplicación.

Después de terminar esta cuarta microscopía, se puede establecer que el evento de espumas fue corregido y controlado después de aproximadamente un mes, mediante la observación del tipo de filamentosa y bioindicadores presentes tanto en las muestras de Licor Mezcla y Espumas de cada SBR de la PTAS Til-Til.

De acuerdo a lo anterior, se puede establecer que los bioindicadores elegidos resultan ser eficaces para determinar las causas de los fenómenos y también preverlos, además si se observan los grados de abundancia de las bacterias filamentosas se podrá saber si existe la posibilidad de formación de espumas (para este caso específico) sin necesidad de realizar control IVL.

Posteriormente se realizaron tres microscopías más, los días 12.09.12, 26.09.12 y 26.10.12, donde sólo se analizaron muestras de licor mezcla, ya que la espuma fue eliminada eficazmente y no volvió a proliferar. Las microscopías del estudio de caso y las posteriores están detalladas en el capítulo 11 Anexos, "*B. Detalle del Seguimiento Microscópico, B.4 Til-Til*".

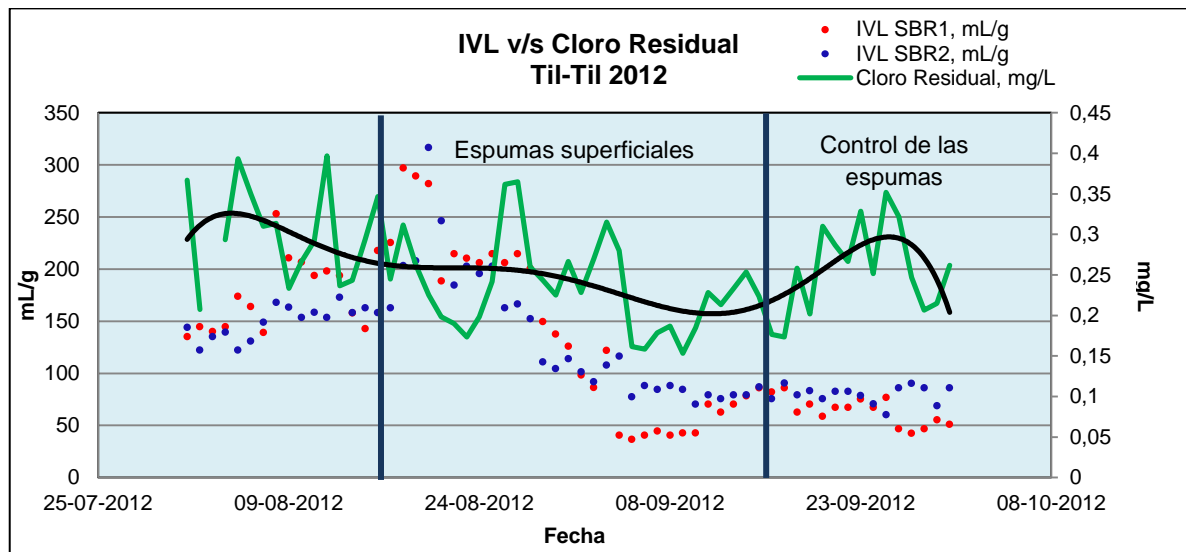
#### **6.4.6 Efectos del Evento Ocurrido Planta Til-Til**

El estudio de caso tuvo una duración aproximada de un mes, desde el 17.08.12 al 17.09.12 (día en que terminó la aplicación de productos químicos solicitada por ACAL como consecuencia de la microscopía N°4 07.09.12), para analizar qué efectos produjo el evento de espumas ocurrido, se realizará un análisis al cloro residual que es el principal afectado con las espumas, ya que la alteración de la sequedad del lodo es causa del bulking filamentoso.

En la **Figura 6.57** se observa que durante el estudio de caso, que identifica un evento de espumas, el cloro residual del efluente presenta una baja en su concentración, debido a que el agua tratada es más turbia y de menor calidad, por lo que necesita mayor cantidad de cloro para consumir material biológico remanente del tratamiento, que debe ser eliminado mediante la desinfección con hipoclorito de sodio.

Podemos notar también que apenas el evento fue controlado la concentración del cloro residual comenzó a elevarse nuevamente, ya que la calidad del efluente aumentó.

Otra observación que se puede realizar, y que se comentó anteriormente, es que el fenómeno de espumas, no necesariamente está ligado al fenómeno de bulking filamentoso, es más, durante el fenómeno de espumas se presentaron los valores de IVL más bajos del periodo de análisis.



**Figura 6.57** Efectos de la proliferación de espumas superficiales sobre el Cloro residual.

## **7 ANÁLISIS DE COSTOS**

En este capítulo no sólo se analizarán los costos asociados a los problemas de bulking y espumas, ya sean insumos químicos utilizados para corregir estos eventos, sino que también los costos de los efectos provocados por estos fenómenos.

Se realizará un análisis por planta y la respectiva comparación de los años 2011 y 2012, para verificar si las propuestas realizadas son factibles del punto de vista económico.

### **7.1 Costos del Hipoclorito de Sodio y Antiespumante.**

Si bien el consumo de los insumos químicos utilizados para corregir los fenómenos de bulking y espumas se puede calcular mediante la operatoria entre las dosis aplicadas, la cantidad de horas y el tiempo de duración, este valor no resulta real, ya que las aplicaciones no se cumplen al pie de la letra, debido a que dependen del personal de operaciones.

Los valores que se utilizarán corresponden a los entregados por el área encargada de la compra y consumos de insumos químicos de Aguas Andinas S.A, los que corresponden a datos oficiales para la empresa.

El valor comercial del Hipoclorito de sodio es US\$321,95/ton y el del antiespumante es US\$4,68/Kg, ambos válidos para los años 2011 y 2012.

#### **7.1.1 Costos Hipoclorito de Sodio y Antiespumante Planta Curacaví.**

Los consumos y costos de hipoclorito de sodio utilizado durante el año 2011 y el periodo bajo estudio del año 2012 para la planta de tratamiento de aguas servidas Curacaví, son especificados en la **Tabla 7.1**.

**Tabla 7.1** Consumo y costo de Hipoclorito de sodio, PTAS Curacaví.

Año	Consumo Hipoclorito Bulking, Kg	Gasto Hipoclorito Control Bulking, US\$	m <sup>3</sup> de afluente tratado	Gasto por m <sup>3</sup> de Afluente tratado, US\$/m <sup>3</sup>
2011	29274,67	9424,98	920000	0,010
2012	33381,75	10747,25	941000	0,011

Durante el año 2012 se gastaron US\$/m<sup>3</sup> 0,001 más que el año 2011, lo que corresponde a un aumento del 10%, esto se debe principalmente a que durante el seguimiento se realizó mayor cantidad de aplicaciones, además se inyectó este producto en paralelo con el antiespumante para apoyar su acción.

Los consumos y costos de antiespumante utilizado durante el año 2011 y el periodo bajo estudio del año 2012, son especificados en la **Tabla 7.2**.

**Tabla 7.2** Consumo y costo de Antiespumante, PTAS Curacaví.

Año	Consumo Antiespumante, Kg	Gasto Antiespumante, US\$	m <sup>3</sup> de afluente tratado	Gasto por m <sup>3</sup> de Afluente tratado, US\$/m <sup>3</sup>
2011	0,00	0,00	920000	0,000
2012	6965	32596,20	941000	0,035

Durante el año 2011 no se realizaron aplicaciones de antiespumante, ya que no existían las instalaciones para realizarlas, sin embargo el 2012 se realizaron las instalaciones pertinentes y se aplicó este producto registrándose un gasto de US\$/m<sup>3</sup> 0,035.

### 7.1.2 Costos Hipoclorito de Sodio y Antiespumante Planta El Monte.

Los consumos y costos de hipoclorito de sodio utilizado durante el año 2011 y el periodo bajo estudio del año 2012 para la planta de tratamiento de aguas servidas El Monte, son especificados en la **Tabla 7.3**.

**Tabla 7.3** Consumo y costo de Hipoclorito de sodio, PTAS El Monte.

Año	Consumo Hipoclorito Bulking, Kg	Gasto Hipoclorito Control Bulking, US\$	m <sup>3</sup> de afluente tratado	Gasto por m <sup>3</sup> de Afluente tratado, US\$/m <sup>3</sup>
2011	5024,45	1617,62	1440000	0,001
2012	0,00	0,00	1575000	0,000

En El Monte durante el año 2012 no se registraron aplicaciones de hipoclorito de sodio, debido a que las líneas de aplicación del SBR1 (reactor con problemas) se encontraban defectuosas, mientras que el año 2011 se registró un gasto de US\$/m<sup>3</sup> 0,001.

Los consumos y costos de antiespumante utilizado durante el año 2011 y el periodo bajo estudio del año 2012, son especificados en la **Tabla 7.4**.

**Tabla 7.4** Consumo y costo de Antiespumante, PTAS El Monte.

Año	Consumo Antiespumante, Kg	Gasto Antiespumante, US\$	m <sup>3</sup> de afluente tratado	Gasto por m <sup>3</sup> de Afluente tratado, US\$/m <sup>3</sup>
2011	5360	25084,80	1440000	0,017
2012	3034	14199,12	1575000	0,009

Durante el año 2012 se gastaron US\$/m<sup>3</sup> 0,008 menos de antiespumante que el año 2011, lo que representa un ahorro del 47,06%, evidencia de un mayor control y menos eventos producidos.



### 7.1.3 Costos Hipoclorito de Sodio y Antiespumante Planta San José de Maipo.

Los consumos y costos de hipoclorito de sodio utilizado durante el año 2011 y el periodo bajo estudio del año 2012 para la PTAS SJM, son especificados en la **Tabla 7.5**.

**Tabla 7.5** Consumo y costo de Hipoclorito de sodio, PTAS San José de Maipo.

Año	Consumo Hipoclorito Bulking, Kg	Gasto Hipoclorito Control Bulking, US\$	m <sup>3</sup> de afluente tratado	Gasto por m <sup>3</sup> de Afluente tratado, US\$/m <sup>3</sup>
2011	0,00	0,00	344000	0,000
2012	12725	4096,81	354000	0,012

Debido a que en años anteriores esta planta no contaba con instalaciones para el control bulking, sólo se asignaron consignas de aplicación de hipoclorito de sodio durante el seguimiento el año 2012, las que generaron un gasto de US\$/m<sup>3</sup> 0,012.

Los consumos y costos de antiespumante utilizado durante el año 2011 y el periodo bajo estudio del año 2012, son especificados en la **Tabla 7.6**.

**Tabla 7.6** Consumo y costo de Antiespumante, PTAS San José de Maipo.

Año	Consumo Antiespumante, Kg	Gasto Antiespumante, US\$	m <sup>3</sup> de afluente tratado	Gasto por m <sup>3</sup> de Afluente tratado, US\$/m <sup>3</sup>
2011	0,00	0,00	344000	0,000
2012	2982	13955,76	354000	0,039

Durante el año 2011 no se realizaron aplicaciones de antiespumante, ya que no existían las instalaciones para realizarlas, sin embargo el 2012 se aplicó este producto registrándose un gasto de US\$/m<sup>3</sup> 0,039, resultando ser la planta que registra mayor gasto.

### 7.1.4 Costos Hipoclorito de Sodio y Antiespumante Planta Til-Til.

Los consumos y costos de hipoclorito de sodio utilizado durante el año 2011 y el periodo bajo estudio del año 2012 para la planta de tratamiento de aguas servidas Til-Til, son especificados en la **Tabla 7.7**.

**Tabla 7.7** Consumo y costo de Hipoclorito de sodio, PTAS Til-Til.

Año	Consumo Hipoclorito Bulking, Kg	Gasto Hipoclorito Control Bulking, US\$	m <sup>3</sup> de afluente tratado	Gasto por m <sup>3</sup> de Afluente tratado, US\$/m <sup>3</sup>
2011	9603,75	3091,93	211000	0,015
2012	10661,44	3432,45	244000	0,014

Durante el año 2012 se gastaron US\$/m<sup>3</sup> 0,001 menos que el año 2011, lo que corresponde a un ahorro del 6,67% con respecto al año 2011, consecuencia del control preventivo y correctivo realizado.

Los consumos y costos de antiespumante utilizado durante el año 2011 y el periodo bajo estudio del año 2012, son especificados en la **Tabla 7.8**.

**Tabla 7.8** Consumo y costo de Antiespumante, PTAS Til-Til.

Año	Consumo Antiespumante, Kg	Gasto Antiespumante, US\$	m <sup>3</sup> de afluente tratado	Gasto por m <sup>3</sup> de Afluente tratado, US\$/m <sup>3</sup>
2011	17665	82672,20	211000	0,392
2012	6000	28080,00	244000	0,115

Durante el año 2012 se gastaron US\$/m<sup>3</sup> 0,277 menos de antiespumante que el año 2011, lo que representa un ahorro del 57,91%, evidencia de la eficacia del control preventivo del fenómeno.

De acuerdo al análisis unitario realizado para cada planta de aguas servidas bajo estudio, podemos decir que predominó el ahorro de antiespumante, cuyo consumo fue menor en todas las plantas que contaban con sistema aplicador de control espumas desde años anteriores (El Monte y Til-Til), y además se instalaron estos sistemas en las localidades que no lo tenían integrado (Curacaví y San José de Maipo). Con respecto al hipoclorito de sodio se produjo un ahorro del 6,67% en la planta Til-Til, mientras que aumentó en un 10% el consumo en Curacaví, además se instalaron sistemas de aplicación en San José de Maipo y por motivos de defectos en las líneas no se pudo trabajar con El Monte.

## OBSERVACIÓN

Si bien los periodos en que se analizaron los gastos no es igual (ya que el 2012 se consideró solo hasta el 31 de Octubre), es válido realizar la comparación, debido a que no se aplicaron consignas posteriores al periodo de seguimiento y la cantidad de agua tratada seguiría aumentando para el año 2012, lo que disminuiría los gastos considerados en este periodo.

## 7.2 Costos de Otros Insumos

En este ítem se considerarán otros gastos que son consecuencia de los problemas de bulking y espumas, como el consumo de Hipoclorito de sodio para desinfección, polímero (utilizado para flocular el lodo en la deshidratación), cal (para aumentar la sequedad del lodo deshidratado) y transporte de biosólidos (traslado a vertederos o rellenos sanitarios).

Los valores comerciales de estos insumos son especificados en la **Tabla 7.9**.

**Tabla 7.9** Valores comerciales otros insumos.

Insumo	Cal	Hipoclorito de sodio, desinfección	Polímero	Transporte biosólidos
Valor	US\$0,21/Kg	US\$321,95/ton	US\$4,7/Kg	US\$260,40/viaje*

\* Valor estimado año 2009.

Los consumos y costos de estos insumos asociados fueron calculados considerando el periodo comprendido entre Mayo y Octubre de ambos años (2011 y 2012). Estos valores son especificados en las **Tablas 7.10 a Tabla 7.13**.

**Tabla 7.10** Consumo y costos de otros insumos, PTAS Curacaví.

Año	CAL		Hipoclorito de sodio desinfección		Polímero		Transporte biosólidos	
	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	n° viajes	US\$/m <sup>3</sup>
<b>2011*</b>	1200	2*10 <sup>-4</sup>	53908	0,019	2361	0,012	70	0,020
<b>2012**</b>	11150	0,002	65591	0,022	1395	0,007	80	0,022

\* Afluente tratado 2011: 920000 m<sup>3</sup>, \*\* Afluente tratado 2012: 941000 m<sup>3</sup>.

De acuerdo a lo especificado para la PTAS Curacaví en la **Tabla 7.10** se pueden realizar los siguientes comentarios (en base a US\$/m<sup>3</sup>):

- El costo de cal en el periodo 2012 aumentó considerablemente, sin embargo, este valor no es representativo ya que la información entregada en cuanto al consumo real de este insumo no es completa ni fehaciente.
- El año 2012 el costo del hipoclorito de sodio sufrió un aumento del 15,79% en comparación con el 2011, dentro de las posibles causas están el poco control sobre la dosis de aplicación del producto para desinfectar, menor calidad del efluente, etc.
- Durante el 2012 el costo del polímero disminuyó en un 41,67% el año en comparación con el 2011, las posibles causas son una mejor preparación del producto por parte de operaciones, falta de información sobre el consumo, mayor calidad del lodo debido al control del fenómeno de bulking, etc.
- En el caso del transporte de biosólidos durante el 2012 hubo un aumento de 10 viajes en comparación con el 2011. Con respecto a este dato no se tiene información oficial por parte de CCOD que lo justifique.

**Tabla 7.11** Consumo y costos de otros insumos, PTAS El Monte.

Año	CAL		Hipoclorito de sodio desinfección		Polímero		Transporte biosólidos	
	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	n° viajes	US\$/m <sup>3</sup>
<b>2011*</b>	180	3*10 <sup>-5</sup>	35525	0,008	875	0,003	60	0,011
<b>2012**</b>	14390	0,002	42467	0,009	1225	0,004	63	0,010

\* Afluente tratado 2011: 1440000 m<sup>3</sup>, \*\* Afluente tratado 2012: 1575000 m<sup>3</sup>.

De acuerdo a lo especificado para la PTAS El Monte en la **Tabla 7.11** se pueden realizar los siguientes comentarios (en base a US\$/m<sup>3</sup>):

- El costo de cal en el periodo 2012 aumentó considerablemente, sin embargo, este valor no es representativo ya que la información entregada en cuanto al consumo real de este insumo no es completa ni fehaciente. Además durante el 2011 se realizaron trabajos en deshidratación y los costos del encalado son asumidos por el contratista.
- El año 2012 el costo del hipoclorito de sodio sufrió un aumento del 12,50% en comparación con el 2011, y sus causas principales son aumento de la capacidad de la planta (construcción de tercer reactor), no haber controlado los fenómenos de bulking ocurridos en el SBR1 debido a los defectos en las líneas aplicación, desajuste de las dosis de aplicación para la desinfección, etc.
- EL costo del polímero en el periodo 2012 aumentó en un 33,33% en comparación con el año 2011, y dentro de sus causas probables figuran aumento de la capacidad de la planta (construcción de tercer reactor), el no haber controlado los fenómenos de bulking ocurridos en el SBR1 debido a los defectos en las líneas aplicación, problemas en la preparación del producto, trabajos en el área de deshidratación durante el 2011 cuyo consumo de polímero es suministrado por los contratistas, etc.
- En el caso del transporte de biosólidos durante el 2012 hubo un aumento de 3 viajes en comparación con el 2011. Este valor se justifica, ya que, se aumentó la capacidad de la planta el año 2012 construyendo un tercer reactor biológico, generando mayor cantidad de residuos biológicos sólidos.

**Tabla 7.12** Consumo y costos de otros insumos, PTAS San José de Maipo.

Año	CAL		Hipoclorito de sodio desinfección		Polímero		Transporte biosólidos	
	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	n° viajes	US\$/m <sup>3</sup>
<b>2011*</b>	0	0,000	7170	0,007	300	0,004	23	0,017
<b>2012**</b>	9291	0,006	24590	0,022	536	0,007	23	0,017

\* Afluente tratado 2011: 344000 m<sup>3</sup>, \*\* Afluente tratado 2012: 354000 m<sup>3</sup>.

De acuerdo a lo especificado para la PTAS San José de Maipo en la **Tabla 7.12** se pueden realizar los siguientes comentarios (en base a US\$/m<sup>3</sup>):

- Con respecto al consumo de cal no se puede efectuar un análisis fehaciente, debido a que no existen registros del gasto de este producto en las bases de datos de la empresa.
- Si bien SJM utiliza el sistema de desinfección UV, existen periodos de tiempo en que las lámparas sufren desperfectos y deben ser apoyadas utilizando hipoclorito de sodio. Bajo este concepto el 2011 tenemos un gasto de bactericida que concuerda con los periodos de mantención de los equipos UV, sin embargo durante el año 2012 se produjo un incremento del 214,29% en el consumo de hipoclorito de sodio, el que sin duda es causado por un apoyo casi total a la desinfección debido a fallas en el sistema utilizado para dicha tarea.
- EL costo del polímero en el periodo 2012 aumentó en un 75% en comparación con el año 2011, y dentro de sus causas probables son falta de información (año 2011) sobre su consumo, preparación deficiente del producto, lodo mal sedimentado, etc.
- El número de viajes realizados para transportar los residuos sólidos no sufrió variaciones, esto se debe principalmente a que no hubo grandes problemas de bulking que aumentarían la cantidad de lodo producido, y también a que la cantidad de agua tratada durante el 2012 fue sólo un 2,91% mayor al 2011.

**Tabla 7.13** Consumo y costos de otros insumos, PTAS Til-Til.

Año	CAL		Hipoclorito de sodio desinfección		Polímero		Transporte biosólidos	
	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	Kg	US\$/m <sup>3</sup>	n° viajes	US\$/m <sup>3</sup>
<b>2011*</b>	3060	0,003	20247	0,031	0	0,000	23	0,028
<b>2012**</b>	2520	0,002	24491	0,032	880	0,017	22	0,023

\* Afluente tratado 2011: 211000 m<sup>3</sup>, \*\* Afluente tratado 2012: 244000 m<sup>3</sup>.

De acuerdo a lo especificado para la PTAS Til-Til en la **Tabla 7.13** se pueden realizar los siguientes comentarios (en base a US\$/m<sup>3</sup>):

- El costo de cal en el periodo 2012 disminuyó un 33,33% en comparación con el año 2011, esto se debe principalmente al control eficiente de los fenómenos de bulking y espumas (se descarta la falta de información debido a que todos los datos estaban registrados).
- El año 2012 el costo del hipoclorito de sodio sufrió un aumento del 3,23% en comparación con el 2011, dentro de las posibles causas están el poco control sobre la dosis de aplicación del producto para desinfectar, menor calidad del efluente, etc.
- Con respecto al consumo de polímero no se puede efectuar un análisis fehaciente, debido a que no existen registros del gasto de este producto durante el 2011, por la utilización de centrifuga móvil la cual utiliza sus propios insumos, esto porque los equipos de planta se encontraban defectuosos.
- El transporte de sólidos tuvo una baja de un viaje, esto se puede justificar debido al control de los problemas de bulking filamentoso y espumas superficiales realizados durante el periodo de estudio.

**OBSERVACIÓN:** Si bien se realizó un análisis detallado de los costos de insumos para el control de los fenómenos en estudio y de los asociados a sus efectos para cada planta, resulta necesario efectuar un registro de costos general considerando la totalidad de los gastos incurridos, este será efectuado más adelante en la sección 7.4.

## **7.3 Costos de Personal**

Para realizar los análisis microscópicos de forma eficiente, dedicada y de calidad es necesario y se sugiere contratar personal calificado para cumplir de forma exclusiva con dicha tarea. Este debe tener conocimientos básicos de microscopía y del proceso de tratamiento de aguas servidas.

Por lo tanto, se considerará una persona, la cual debe realizar turnos de Lunes a Viernes en horario administrativo de 08:30 a 17:20, con 45 minutos de colación, correspondiente al horario aplicado en Aguas Andinas S.A.

La remuneración estimada es de \$500.000 mensuales.

El costo anual será \$6.000.000, considerando que el valor del dólar es \$487,75 (observado al 23.05.2013), queda una cifra de US\$12301,38/año.

## **7.4 Análisis de Costos General**

Tal como se mencionó anteriormente, resulta necesario efectuar un análisis general considerando todos los gastos representativos de cada planta, causados directa e indirectamente por el bulking y las espumas. Esto con motivo de realizar una conclusión que englobe dichos resultados, no obviando el análisis en detalle que es finalmente el que evidencia si fue efectiva o no, económicamente hablando, la propuesta establecida.

Para ejecutar la sumatoria de los costos, primero debemos descartar algunos datos, ya que por motivos específicos y eventualidades de cada planta, no resultan representativos.

1. Se eliminarán los costos de la cal, ya que en la mayoría de las plantas no existe la información necesaria para establecer el consumo real de este insumo.
2. Se eliminará el costo de hipoclorito de sodio utilizado para desinfección en la PTAS San José de Maipo, ya que este se utilizó sólo en reemplazo de los equipos UV que se encontraban defectuosos, los que una vez restablecidos harán innecesario el consumo de este producto.



3. Se eliminará el costo del polímero utilizado en la PTAS Til-Til, ya que no resulta representativo, debido a que falta información sobre su consumo por la utilización de centrifuga móvil.

Los costos generales de todas las plantas estudiadas (menos los valores obviados) son especificados en las **Tabla 7.14** y **7.15**.

**Tabla 7.14** Costo general en US\$, años 2011 y 2012.

<b>Insumo</b>	<b>Costo 2011 US\$</b>	<b>Costo 2012 US\$</b>
<b>Hipoclorito de sodio control Bulking</b>	14134,53	18276,51
<b>Antiespumante</b>	107757,00	88831,08
<b>Hipoclorito de sodio para desinfección*</b>	35311,48	42674,15
<b>Polímero**</b>	16619,20	14833,20
<b>Transporte de biosólidos</b>	45830,40	48955,20
<b>Costo Total insumos</b>	<b>219652,61</b>	<b>213570,14</b>
<b>Personal***</b>	0,00	12301,38
<b>Costo Total US\$</b>	<b>219652,61</b>	<b>225871,52</b>

\* Sin datos PTAS SJM, \*\*Sin datos PTAS Til-Til, \*\*\*Gasto propuesto

**Tabla 7.15** Costo general en US\$/m<sup>3</sup>, años 2011 y 2012.

<b>Año</b>	<b>Caudal total Afluyente tratado, m<sup>3</sup></b>	<b>Costo Total, US\$</b>	<b>Costo Total US\$/m<sup>3</sup></b>
<b>2011</b>	2915000	219652,61	0,075
<b>2012</b>	3114000	225871,52	0,073

Los gastos del año 2012 muestran una disminución en US\$/m<sup>3</sup> 0,002, lo que representa un ahorro del 2,67% en comparación con el periodo 2011. Esto demuestra que tanto el control preventivo como correctivo resultan beneficiosos, no sólo del punto de vista de la mejora del proceso, sino que también desde el punto de vista económico. Debemos notar también, que este ahorro se genera aun cuando al periodo 2012 se le suman gastos de personal y además existen nuevas instalaciones de aplicación de hipoclorito de sodio para el control bulking y antiespumante para la eliminación de espumas superficiales, que el 2011 no estaban operativas.

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en esta tesis se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se estableció que las principales variables de proceso que gatillan los fenómenos de bulking filamentoso y espumas superficiales son la falta de oxígeno disuelto, el ingreso de RILes, disminución de la temperatura y el exceso de aceites y grasas que no fueron eliminadas eficazmente en el pre tratamiento. Por otro lado, los efectos de los eventos de abultamiento de lodos y formación de espumas son, la disminución de la sequedad del lodo deshidratado y la disminución del cloro residual en el efluente, debido a la mala sedimentabilidad del lodo y el enturbiamiento del agua tratada por acción de las espumas.
- Se determinó que la forma más eficiente y rápida para controlar y prever los fenómenos es mediante un control microscópico semanal, que se basa en la observación de bacterias filamentosas y bioindicadores, a través de los cuales se establece una correspondencia con las variables operacionales. Además se sustenta que el grado de abundancia de los filamentos es el mejor indicador que el control IVL para la prevención de los fenómenos. Por otro lado, se debe aplicar de forma paralela los insumos químicos (para el caso de las espumas) y controlar la concentración de oxígeno disuelto en el licor mezcla. Estas medidas son de fácil ejecución ya que sólo contempla la aplicación de productos utilizados en las PTAS, el manejo del oxígeno disuelto por parte de personal de operaciones, siendo la única medida externa la necesidad de personal calificado y exclusivo para realizar las microscopías.
- Se realizó un análisis de costos basado en la comparación de los gastos incurridos durante ambos años bajo estudio, el cual se efectuó por cada planta para detectar los puntos críticos. De acuerdo a esto último la PTAS en que mejor se refleja económicamente la conveniencia de realizar el control y la prevención de los fenómenos es Til-Til donde se produjo un ahorro del 6,67% en el gasto del hipoclorito de sodio y un 57,91% en el antiespumante. La otra planta donde se observa esta

condición es El Monte donde el gasto de antiespumante disminuyó en 47,06%, a pesar de que en dicha unidad durante el periodo 2012 se construyó un tercer reactor aumentando los gastos de los demás insumos. Con respecto a las otras dos PTAS, Curacaví que sólo contaba con instalaciones para el control del bulking y San José de Maipo que no tenía infraestructura para controlar ninguno de los fenómenos, no se puede realizar un análisis de costos comparativo (2011 y 2012), ya que las aplicaciones de productos sólo comenzaron durante el 2012. Sin embargo se observó que los gastos de hipoclorito de sodio y antiespumante no fueron elevados registrando valores de:

Curacaví: US\$/m<sup>3</sup> 0,011 hipoclorito de sodio y US\$/m<sup>3</sup> 0,035 antiespumante.

SJM: US\$/m<sup>3</sup> 0,012 de hipoclorito de sodio y US\$/m<sup>3</sup> 0,039 de antiespumante.

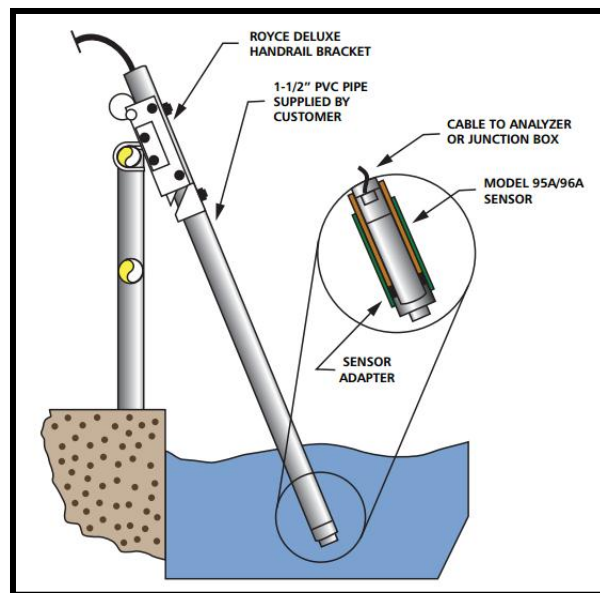
- También se realizó un análisis de costos general, considerando todos los gastos representativos de la totalidad de las plantas estudiadas, como lo son los insumos aplicados para la corrección de los fenómenos y también para productos utilizados en las demás unidades de proceso posiblemente afectadas por estos eventos, así como también la sumatoria de los caudales de afluente tratados y la propuesta de la contratación de personal calificado para las tareas de microscopía. De esto último se obtuvo una disminución de US\$/m<sup>3</sup> 0,002, lo que representa un ahorro del 2,67% en comparación con el año 2011, lo que reafirma aun más la conveniencia de realizar el control preventivo y correctivo del bulking filamentoso y las espumas superficiales.
- De acuerdo con el seguimiento y el estudio de caso realizado se elaboró y estableció un protocolo de acción para el control preventivo y correctivo de los fenómenos de bulking y espumas asociados a bacterias filamentosas, cuya aplicación corresponde a plantas de tratamiento de aguas servidas de localidades que cuentan con lodos activados mediante aireación extendida de la empresa Aguas Andinas S.A.

Conforme a lo observado durante el periodo de análisis se entregan las siguientes recomendaciones:

- Contratar personal calificado que trabaje de forma exclusiva realizando el seguimiento microscópico a todas las plantas que cuenten con aireación extendida, con el fin de asegurar resultados confiables.
- Con el fin de optimizar el hipoclorito de sodio para control bulking y el antiespumante, se sugiere realizar pruebas en terreno para elegir las dosis adecuadas para cada planta y cada grado de abundancia de bacterias filamentosas. Esto también podría efectuarse a escala de laboratorio.
- Automatizar los sistemas de aplicación de los insumos químicos, para regular y controlar las cantidades utilizadas, de esta forma nos aseguramos que el producto sea aplicado por la cantidad de días y horas requeridas, bajos las dosis consignadas, evitando problemas de déficit o sobre aplicación.
- Realizar mantenciones regulares a las líneas de aplicación, para que estas estén en óptimas condiciones cuando sean requeridas y no presenten deterioros al momento de ser usadas.
- Mantener un stock de hipoclorito de sodio exclusivo para el control bulking, de esta forma no se necesitará recurrir al utilizado para la desinfección. Así también mantener antiespumante.
- Corregir la disposición de los insumos químicos, hipoclorito de sodio y antiespumantes, en las plantas donde no están almacenados correctamente (SJM silos de hipoclorito de sodio y antiespumante - Til-Til silo de antiespumante) ya que se inhiben las propiedades de estos al estar en contacto con el medio ambiente.
- Realizar el cambio, de ser necesario, y mantenciones periódicas a los sensores de oxígeno disuelto. De esta manera se determinará realmente cuanta es la

concentración de OD en el licor mezcla, lo que resulta clave para la prevención y control del bulking y las espumas.

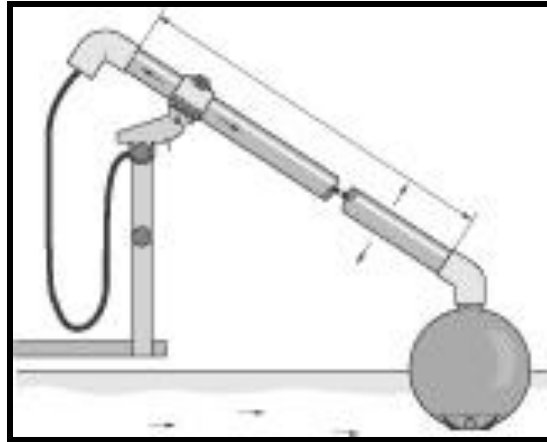
De ser necesario el cambio de los sensores de oxígeno disuelto en línea, se propone utilizar dispositivos que entreguen mayores beneficios y sean más adaptables al proceso en el que son utilizados. Actualmente se utilizan sensores de membrana en barra como el observado en la **Figura 8.1**, los que consisten en una célula de dos electrodos, una membrana permeable al O<sub>2</sub> y un electrolito.



**Figura 8.1** Sensor de membrana de barra, para el oxígeno disuelto.

A pesar de que los usados en la empresa Aguas Andinas S.A. cuentan con sistemas de autolimpieza, en la práctica no funcionan correctamente por lo que se dañan fácilmente.

Se propone utilizar sensores de membrana esféricos como el observado en la **Figura 8.2**, los que cuentan con membrana de teflón insensible al ensuciamiento, cuya autolimpieza se realiza mediante el flujo continuo a través de las acanaladuras Venturi que se encuentran en la parte inferior de la bola.



**Figura 8.2** Sensor de membrana de bola, para el oxígeno disuelto.

o también se puede recurrir a equipos con otras tecnologías, como por ejemplo, sensores ópticos (ver **Figura 8.3**), cuyos sistema de basa en la transmisión de una longitud de onda de energía específica a un componente de rutenio inmovilizado en una matriz sol-gel, los cuales no poseen membranas ni líquidos, y tampoco necesitan calibración y/o mantención.



**Figura 8.3** Sensor óptico, para el oxígeno disuelto.

- Realizar mantenciones a las líneas de carga, parrillas de aireación y difusores de aire, para asegurar una correcta aireación, no generándose pérdidas por fallas.
- Integrar un sistema de control para el ingreso de RILes, de esta forma se pueden aplicar medidas de mitigación a tiempo (aumento del OD), minimizando las probabilidades de generar bulking o proliferación de espumas por acción de los tóxicos.
- Realizar inducciones a personal de operaciones con respecto a los fenómenos de bulking y espumas, para que estos estén en conocimiento e interiorizados de las medidas adoptadas y de como se deben realizar. Esto considerando que las buenas prácticas operacionales resultan fundamentales para atacar estos problemas
- Llevar un control más detallado en cuanto al consumo diario, semanal y/o mensual de todos los insumos químicos. Además de informar situaciones especiales, como por ejemplo la utilización de centrifugas móvil, trabajos en las distintas unidades, las que pueden afectar el gasto de productos.



## 9 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

### REFERENCIAS

- [1] Bernal Katterine, "Control Bulking Filamentoso en Procesos de Lodos Activados Con Aireación Extendida", Proyecto para Optar al Título de Ingeniero Civil Químico, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2010.
- [2] Metcalf & Eddy, INC., "Ingeniería de Aguas Residuales", Tercera edición, 1995, Editorial McGraw-Hill. Páginas 409 a 504.
- [3] David Jenkins, Michael G. Richard, Glen T. Daigger, "Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and other Solid Separation Problems", 3rd edition, 2004, IWA publishing, 190 pages.
- [4] Puebla Gonzalo, Salinas Gabriela, "Control Microscópico", Revista InduAmbiente, Edición N°119, páginas 106-108.
- [5] Arellano Rodrigo, "Proyecto para Optar al Título de Ingeniero Civil", Universidad del Bío-Bío, 2005.
- [6] Reyes Alan, "Análisis y Control del Abultamiento Filamentoso en una Planta de Tratamiento de Efluentes", Proyecto para Optar al Título de Ingeniero Químico, Universidad Veracruzana, México, 2009.
- [7] M.M. Vilaseca, "Observación Microscópica de Fangos Activados en los Tratamientos de Depuración Biológica", boletín INTEXTER (U.P.C), 2001, N°119, 67-72.
- [8] Comisión Nacional de Medio Ambiente. 2002. Decreto Supremo N°90 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Chile.

## **BIBLIOGRAFÍA**

<http://www.cabierta.uchile.cl/revista/6/aguas.htm>, Última visita 10.10.1012.

[http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE04\\_200705.pdf](http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE04_200705.pdf), Última visita 18.07.2012.

<http://www.guiaambiental.com.ar/conocimiento-calidad-de-agua-lodos-activados.html>, Última visita 06.11.2012.

<http://www.aetcm.es/Revista/138/JMCancellor.pdf>, Última visita 31.05.12.

[http://www.bibliotecagbs.com/WEBCORPORATIVA/Publicaciones/publi\\_02.html](http://www.bibliotecagbs.com/WEBCORPORATIVA/Publicaciones/publi_02.html), Última visita 23.05.12.

# 10 GLOSARIO DE TÉRMINOS

**ACAL:** Área de calidad de Aguas Andinas S.A.

**Afluente:** Caudal de aguas servidas que entra a la planta de tratamiento.

**ANAM:** Laboratorio certificado para realizar análisis ambientales.

**Anoxia:** Falta casi total de oxígeno.

**Bacteria:** Organismo unicelular, que en cuyo interior contienen una suspensión de proteínas y carbohidratos, llamado citoplasma.

**Bacterias aerobias:** Microorganismos que necesitan oxígeno para poder existir y desarrollarse.

**Bacterias anaerobias:** Microorganismos que se desarrollan en ausencia de oxígeno.

**Bacterias autótrofas:** Bacterias capaces de sintetizar las sustancias orgánicas a partir de las minerales.

**Bacterias heterótrofas:** Bacterias que utilizan los compuestos orgánicos elaborados por otros seres vivos a los que parasitan.

**Bactericida:** Agente químico que produce la muerte de las bacterias.

**Biocenosis:** Conjunto de organismos de todas las especies que coexisten en un espacio definido llamado biotopo, que ofrece las condiciones ambientales necesarias para su supervivencia.

**Biodiversidad bacteriana:** Variedad de especies de bacterianas.

**Bioindicador:** (bacteria) Especie que nos entrega información sobre cierta característica del ambiente en el que se encuentran.

**Biosólido:** Residuos orgánicos sólidos que resultan del tratamiento de las aguas residuales.

**Bitácora CCOD:** Archivo que contiene los reportes diarios de las actividades de operaciones a cargo del centro de control de operaciones del área de depuración.

**Bulking filamentoso:** Alta presencia de microorganismos filamentosos, la cual forma una malla que impide una correcta separación sólido-líquido.

**Carga másica:** Relación que existe entre la carga de materia orgánica que entra en el reactor biológico por unidad de tiempo.

**Caudal admisible:** Cantidad de aguas servidas que puede ser tratado en cada planta.

**Ciclo de aireación:** Frecuencia en la que es inyectado el oxígeno a las unidades biológicas.

**Clarificado:** Agua remanente de la separación sólido-líquido.

**Datos planta, control proceso:** Bases de datos que incluyen datos del laboratorio de control de procesos de aguas servidas.

**Depuración:** Proceso mediante el cual se eliminan impurezas del agua.

**Efluente:** Descarga de agua tratada que es vertida hacia un cuerpo receptor.

**Estrés bacteriano:** Reacción de defensa de las bacterias frente a estímulos amenazantes.

**Flóculo:** Aglomeración de partículas, en este caso bacterias que tienen a depositarse en el fondo de los reactores biológicos.

**Germicida:** Agente químico que produce la muerte de los gérmenes.

**Lodo activado:** Licor mezcla, biomasa, masa activa de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por medio por vía aerobia.

**Metabolismo endógeno:** Fase en que las bacterias consumen su propio tejido.

**Mezcla completa:** Homogenización de todo el material biológico y el oxígeno disuelto contenido en el reactor.

**OD:** Oxígeno disuelto en los reactores biológicos (mg/L).

**ORP:** Oxidation reduction potential, potencial óxido-reducción (POR) (Eh mV).

**Proceso metabólico:** Mecanismo mediante el cual los organismos transforman la materia en energía.

**Proliferación:** (bacterias) Multiplicación abundante de bacterias.

**PTAS:** Planta de tratamiento de aguas servidas.

**Purga de lodos:** Lodos que son extraídos del reactor biológico.

**Reactor biológico:** Unidad donde se lleva a cabo el tratamiento biológico del agua residual.

**Recirculación de lodos:** Lodo tratado que vuelve a ser inyectado al reactor biológico.

**RIL:** Residuo líquido industrial.

**SBR:** Sequential batch reactor, reactor secuencial de flujo discontinuo.

**SCT:** Base de datos que contiene información general y de proceso de las plantas.

**Sedimentación:** (decantación) Proceso por el cual las partículas más pesadas que el agua son removidas por acción de la gravedad.

**Velocidad de sedimentación:** Precipitación de los flóculos en un tiempo determinado.

# 11 ANEXOS

## A. Formato del Informe de Microscopía Utilizado por ACAL

Para mostrar el formato de microscopía de forma explicativa se utilizará un ejemplo real, el que corresponde al SBR1 de la PTAS Til-Til.

### ANÁLISIS MICROSCÓPICO LODO ACTIVADO PLANTA Til-Til

Fecha de análisis: 24/08/2012. Hora: 13:30 h. Muestra: Til-Til.

#### LICOR MIXTO DEL REACTOR 1

##### 1. OBSERVACIONES DE LOS FLÓCULOS

Forma: Regular - Irregular - Esférica Estructura: Compacta - Abierta  
Dispersión: Normal - Alta - Exceso Presencia de Zooglea: SI - NO

##### 2. FILAMENTOSAS

GRADO DE ABUNDANCIA (0 a 6): 3 (filamento corto) 2 (filamento largo)

Libres móviles: S / N En el floculo: S / N Puentes entre floc: S / N

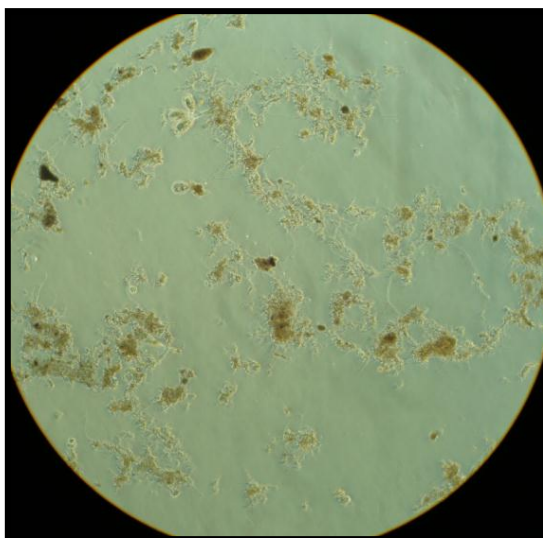
Ramificaciones: S / N Adherencias: S / N

##### TIPO DE FILAMENTOSAS:

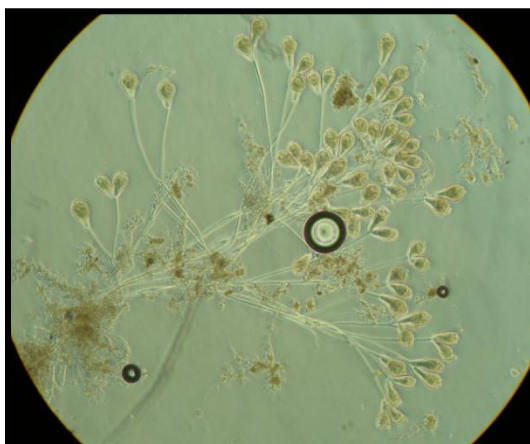
Principalmente bacterias de filamento corto, asociado al flóculo, muy ramificadas, sin adherencias (tipo Nocardia sp.). También existe presencia de bacterias de filamento largo y delgado formando puentes entre floc (tipo M. parvicella).

### 3. DIVERSIDAD DE MICROORGANISMOS

BACTERIA	GÉNERO	GRADO (0 A 6) O ABUNDANCIA (BAJA-MODERADA-ALTA)	SIGNIFICANCIA	DATOS PLANTA	OBSERVACIÓN
M. Parvicella	Filamentosa	Grado 2	Deben su aparición a bajas relaciones de F/M, producen espuma en los SBR, conjunto con la presencia de aceites y grasas y bajas temperaturas. También producen disgregación flocular.	<p><b>Afluente:</b>                      Conductividad: 1021 <math>\mu</math>s/cm.                      pH: 7,93 u.                      DBO5: 247 mg/L.                      AyG: 59 mg/L.</p> <p><b>Tratamiento Biológico:</b>                      SST: 2280 mg/L.                      SSV: 1660 mg/L.                      V30: 470 mL/L.                      IVL: 206 mL/g.                      OD: 2,58 mg/L.</p> <p><b>Efluente:</b>                      Cloro residual: 0,2 ppm.                      Cloro total: 1,1 ppm.                      pH: 7,5 u.                      Turbiedad: 3,66 UNT.</p> <p>Edad del lodo: 12 días.                      F/M: 0,18</p>	Existe presencia de bacterias filamentosas las que no evidencias problemas de bulking, el valor de IVL corrobora también esta situación (<250 mL/g), además hay una alta presencia de Opercularia sp. lo que podría indicar falta de Oxígeno ya que no hay información de ingreso de RIL.
Nocardia sp.	Filamentosa	Grado 3	Deben su aparición a bajas relaciones de F/M, producen espuma en los SBR, conjunto con la presencia de aceites y grasas y bajas temperaturas. También producen disgregación flocular.	<p><b>Efluente:</b>                      Cloro residual: 0,2 ppm.                      Cloro total: 1,1 ppm.                      pH: 7,5 u.                      Turbiedad: 3,66 UNT.</p>	Eventualmente se podrían provocar espumas debido a la presencia de Nocardia.
Opercularia sp.	Ciliado fijo	Alta	Indicador de sobre carga de masa orgánica, bajo OD y toxicidad.		El OD ligeramente sobre el intervalo establecido 1,5 a 2,5 mg/L.
No identificada	Nematodo	Baja	No bioindicador.		De la conductividad y pH deducimos que no hay presencia de riles.



**Figura Nº 1:** Presencia de *Nocardia amarae*, *M. parvicella*, floc abierto, irregular y con dispersión normal.



**Figura Nº 2:** *Opercularia* sp.



**Figura Nº 3:** Nematodo no identificado.



## 4. RESULTADOS / ACCIONES

### SBR 1

#### 4.1.1 Bulking:

- No se evidencia presencia de Bulking.
- No se sugiere aplicar hipoclorito.

#### 4.1.2 Espuma:

- No existe presencia de espuma.
- No se requiere aplicar antiespumante.

## 5. OXÍGENO DISUELTO

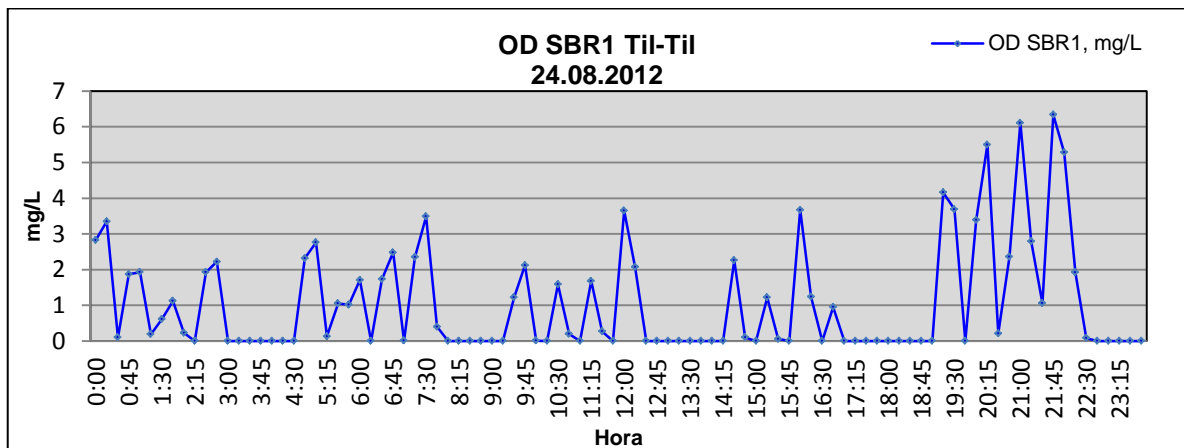


Figura N° 4: Oxígeno disuelto SBR1 Tiil-Tiil 24.08.2012.

## B. Detalle del Seguimiento Microscópico

Debido a que se realizó un número significativo de microscopías, se detallará el seguimiento microscópico mediante un resumen que definirá las características más importantes de cada análisis.

### B.1 Curacaví

**Tabla B.1** Detalle seguimiento microscópico Curacaví.

Microscopías SBR1 PTAS Curacaví								
Licor Mezcla								
Fecha	OBS de los flóculos	Zooglea	Tipo filamentosa (Abundancia)	OBS de las filamentosas	Bioindicadores (Abundancia)	Otras bacterias	Observaciones	Recomendaciones
18.05.12	Irr - Comp - Nor	No	M. parvicella/2	En el floc	Vorticella sp./B Opercularia sp./B	Si		No aplicar Hipoclorito
24.05.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Opercularia sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.06.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Opercularia sp./B Cilios vacíos de Vorticella sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
22.06.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 a 5 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Vorticella sp./A Opercularia sp./B Phyllodina sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
29.06.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3 a 4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Vorticella sp./A Opercularia sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito

12.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Vorticella sp./B Phyllodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
19.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./M Opercularia sp./B	Si	IVL >250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
27.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Opercularia sp./B Phyllodina sp./M	Si	IVL >250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
03.08.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Opercularia sp./M Phyllodina sp./A	Si	IVL >250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
10.08.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./B Phyllodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
17.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./B Phyllodina sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
24.08.12	Irr - Comp - Alt	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./B	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.09.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./B Cilios vacios de Vorticella sp./B Phyllodina sp./B Vorticella sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.09.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/2 a 3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Vorticella sp./M Phyllodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
05.10.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/2 a 3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Vorticella sp./B Phyllodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito

11.10.12	Irr - Ab - Alt	Si	M. parvicella/2 a 3 Nocardia sp./1 a 2	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./B Phillodina sp./B Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.10.12	Irr - Ab - Nor	No	Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./B Vorticella sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
<b>Espuma</b>								
12.07.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./A Vorticella sp./B	Si	-	Aplicar Antiespumante
19.07.12	Irr - Comp - Alt	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./B Phillodina sp./B	Si	-	Aplicar Antiespumante
27.07.12	Irr - Comp - Alt	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./B Phillodina sp./B	Si	-	Aplicar Antiespumante
03.08.12	Irr - Comp - Exc	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./5	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
10.08.12	Irr - Comp - Exc	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./5 a 6	En el floc, puentes y ramificaciones	No	No	-	Aplicar Antiespumante
24.08.12	Irr - Comp - Exc	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	No	No	-	Aplicar Antiespumante
07.09.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Cilios vacios de Vorticella sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
26.09.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Phillodina sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
05.10.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Phillodina sp./B	Si	-	Aplicar Antiespumante
11.10.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	No	Si	-	Aplicar Antiespumante

Microscopías SBR2 PTAS Curacaví								
Licor Mezcla								
Fecha	OBS de los flóculos	Zooglea	Tipo filamentosa (Abundancia)	OBS de las filamentosas	Bioindicadores (Abundancia)	Otras bacterias	Observaciones	Recomendaciones
18.05.12	Irr - Comp - Nor	No	M. parvicella/2	En el floc	Opercularia sp./B Vorticella sp./B	Si	-	No aplicar Hipoclorito
24.05.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Opercularia sp./A Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.06.12	Irr - Ab - Nor	Si	M. parvicella/3	En el floc	Aspidisca sp./A Vorticella sp./M Opercularia sp./M Phillodina sp./B	Si	IVL >250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
22.06.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/5 Nocardia sp./5	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./ A Opercularia sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./A Phillodina sp./B Vorticella sp./A	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
29.06.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/5	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Opercularia sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
12.07.12	Irr - Ab - Exc	No	M. parvicella/5 a 6	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Opercularia sp./M	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
19.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Opercularia sp./M Phillodina sp./M	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
27.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3 a 4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./M Opercularia sp./B Phillodina sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito

03.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Opercularia sp./B Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
10.08.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./B Phillodina sp./M	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
17.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./M Phillodina sp./B	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
24.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./M Vorticella sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.09.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/2 a 3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./M Cilios vacios de Vorticella sp./M Vorticella sp./M Phillodina sp./B	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.09.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Vorticella sp./B Opercularia sp./M Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
05.10.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Vorticella sp./M Opercularia sp./A Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
11.10.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/2 a 3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Vorticella sp./M Opercularia sp./A Phillodina sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.10.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/2 a 3 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./M Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
<b>Espuma</b>								

Espuma								
12.07.12	Irr - Ab - Exc	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./5	En el floc, puentes y ramificaciones	No	No	-	Aplicar Antiespumante
19.07.12	Irr - Comp - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Opercularia sp./B	Si	-	Aplicar Antiespumante
27.07.12	Irr - Comp - Alt	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B	Si	-	Aplicar Antiespumante
03.08.12	Irr - Comp - Alt	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./5	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
10.08.12	Irr - Comp - Exc	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./5 a 6	En el floc, puentes y ramificaciones	No	No	-	Aplicar Antiespumante
24.08.12	Irr - Comp - Exc	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	No	Si	-	Aplicar Antiespumante
07.09.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5 a 6	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./A	No	-	Aplicar Antiespumante
26.09.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5 a 6	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./B Phillodina sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
05.10.12	Irr - Comp - Exc	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./5	En el floc, puentes y ramificaciones	Vorticella sp./B Opercularia sp./B Phillodina sp./B	Si	-	Aplicar Antiespumante
11.10.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./B Opercularia sp./B Phillodina sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
26.10.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./6	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./B Phillodina sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante

## B.2 El Monte

Tabla B.2 Detalle seguimiento microscópico El Monte.

Microscopías SBR1 PTAS El Monte								
Licor Mezcla								
Fecha	OBS de los flóculos	Zooglea	Tipo filamentosa (Abundancia)	OBS de las filamentosas	Bioindicadores (Abundancia)	Otras bacterias	Observaciones	Recomendaciones
18.05.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./B Vorticella sp./B	Si	-	No aplicar Hipoclorito
24.05.12	Irr - Comp - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Cilios vacios de Vorticella sp./B Phillodina sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
01.06.12	Irr - Comp - Nor	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Vorticella sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.06.12	Irr - Ab - Nor	Si	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Opercularia sp./M Phillodina sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
14.06.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Phillodina sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
22.06.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Phillodina sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito



29.06.12	Irr - Ab - Alt	Si	M. parvicella/4 a 5 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Cilios vacios de Vorticella sp./M Phillodina sp./A Vorticella sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
06.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/5 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./B Phillodina sp./A	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
12.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 a 5 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./M Phillodina sp./M Vorticella sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
19.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3 a 4 Nocardia sp./3 a 4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./A Phillodina sp./A Vorticella sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
27.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./A Phillodina sp./A Vorticella sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
10.08.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Phillodina sp./A	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
17.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Vorticella sp./B Phillodina sp./M	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito

24.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./B Phillodina sp./M Vorticella sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
31.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./B Phillodina sp./M Vorticella sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
07.09.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./B Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
12.09.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./B Phillodina sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
11.10.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Vorticella sp./B Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
26.10.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Phillodina sp./B Opercularia sp./A	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
<b>Espuma</b>								
07.06.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Opercularia sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante

22.06.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Phyllodina sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
27.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./M Phyllodina sp./B Vorticella sp./B	Si	-	Aplicar Antiespumante
10.08.12	Irr - Comp - Alt	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A	Si	-	Aplicar Antiespumante
24.08.12	Irr - Comp - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./M	Si	-	Aplicar Antiespumante
<b>Microscopías SBR2 PTAS El Monte</b>								
<b>Licor Mezcla</b>								
Fecha	OBS de los flóculos	Zooglea	Tipo filamentosa (Abundancia)	OBS de las filamentosas	Bioindicadores (Abundancia)	Otras bacterias	Observaciones	Recomendaciones
18.05.12	Irr - Comp - Nor	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Vorticella sp./M Phyllodina sp./B	Si	-	No aplicar Hipoclorito
24.05.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
01.06.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Cilios vacios de Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.06.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Cilios vacios de Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito

14.06.12	Irr - Comp - Nor	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Vorticella sp./M Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
22.06.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./B Phillodina sp./B Opercularia sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
29.06.12	Irr - Ab - Nor	Si	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Phillodina sp./M Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
06.07.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Phillodina sp./B Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
12.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./B Opercularia sp./A Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
19.07.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Cilios vacios de Vorticella sp./B Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
27.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Phillodina sp./M	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
03.08.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/5 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Vorticella sp./B Phillodina sp./A	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito

10.08.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Vorticella sp./B Phillodina sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
17.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Vorticella sp./M Phillodina sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
24.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./B Opercularia sp./B Phillodina sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.09.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./M Opercularia sp./B Phillodina sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
12.09.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./B Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
11.10.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.10.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Opercularia sp./A Euchlanis sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito

Microscopías SBR3 PTAS El Monte								
Licor Mezcla								
Fecha	OBS de los flóculos	Zooglea	Tipo filamentosa (Abundancia)	OBS de las filamentosas	Bioindicadores (Abundancia)	Otras bacterias	Observaciones	Recomendaciones
18.05.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Vorticella sp./M	Si	-	No aplicar Hipoclorito
24.05.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Cilios vacíos de Vorticella sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
01.06.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Cilios vacíos de Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.06.12	Irr - Comp - Nor	Si	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./B Cilios vacíos de Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
14.06.12	Irr - Comp - Nor	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
22.06.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Phillodina sp./B	Si	IVL >250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
29.06.12	Irr - Ab - Alt	Si	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Vorticella sp./B Phillodina sp./A Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito

06.07.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Vorticella sp./M Phillodina sp./M Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
12.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Vorticella sp./B Phillodina sp./B Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
19.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
27.07.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Euchlanis sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
03.08.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/5 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Phillodina sp./M	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
17.08.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Vorticella sp./B Phillodina sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
24.08.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Phillodina sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito

31.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/4 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Phillodina sp./M Opercularia sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
07.09.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./M Phillodina sp./B Opercularia sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
12.09.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./2	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./M Opercularia sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
11.10.12	Irr - Ab - Nor	Si	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./A Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.10.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3	En el floc y puentes	Aspidisca sp./M Phillodina sp./B Opercularia sp./A Euchlanis sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito



### B.3 San José de Maipo

Tabla B.3 Detalle seguimiento microscópico San José de Maipo.

Microscopías Reactor Biológico PTAS San José de Maipo								
Licor Mezcla								
Fecha	OBS de los flóculos	Zooglea	Tipo filamentosa (Abundancia)	OBS de las filamentosas	Bioindicadores (Abundancia)	Otras bacterias	Observaciones	Recomendaciones
18.05.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./M Vorticella sp./M Phillodina sp./M	No	-	Aplicar Hipoclorito
24.05.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./M Cilios vacíos de Vorticella sp./M Phillodina sp./M Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
01.06.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./M Cilios vacíos de Vorticella sp./M Phillodina sp./M Vorticella sp./B	Si	-	Aplicar Hipoclorito
07.06.12	Irr - Ab - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./M Phillodina sp./A Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
14.06.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./B Phillodina sp./A Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	Aplicar Hipoclorito

22.06.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./B Cilios vacios de Vorticella sp./A Phillodina sp./B Vorticella sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
29.06.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./M Cilios vacios de Vorticella sp./A Phillodina sp./B Vorticella sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
06.07.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./M Cilios vacios de Vorticella sp./A Phillodina sp./B Vorticella sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
19.07.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./A Cilios vacios de Vorticella sp./M Phillodina sp./B Vorticella sp./A	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
03.08.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./A Opercularia sp./B	Si	IVL >250 mL/g	Aplicar Hipoclorito
10.08.12	Irr - Ab - Nor	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./M Phillodina sp./B	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
17.08.12	Irr - Ab - Nor	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./M Phillodina sp./B	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
24.08.12	Irr - Ab - Nor	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./B Cilios vacios de Vorticella sp./M Phillodina sp./M Vorticella sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito

31.08.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./M Cilios vacios de Vorticella sp./M Phillodina sp./B Vorticella sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.09.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./B Cilios vacios de Vorticella sp./M Phillodina sp./B Vorticella sp./A	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
12.09.12	Irr - Ab - Nor	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./M Cilios vacios de Vorticella sp./B Phillodina sp./B Vorticella sp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.09.12	Irr - Ab - Nor	Si	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./M Opercularia sp./M	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
05.10.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./A Phillodina sp./B Vorticella sp./A	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
11.10.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./A Opercularia sp./M	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.10.12	Irr - Ab - Nor	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./B Phillodina sp./B Vorticella sp./A	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
<b>Espuma</b>								
18.05.12	Irr - Comp - Nor	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./5	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Vorticella sp./B Phillodina sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante

24.05.12	Irr - Comp - Alt	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./B Cilios vacios de Vorticella sp./M Phyllodina sp./B	Si	-	Aplicar Antiespumante
01.06.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Phyllodina sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
07.06.12	Irr - Ab - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./B Phyllodina sp./M	No	-	Aplicar Antiespumante
14.06.12	Irr - Comp - Alt	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./B Phyllodina sp./A	Si	-	Aplicar Antiespumante
22.06.12	Irr - Comp - Nor	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	No	No	-	Aplicar Antiespumante
29.06.12	Irr - Comp - Nor	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Cilios vacios de Vorticella sp./M Vorticella sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
06.07.12	Irr - Comp - Alt	No	Nocardia sp./4	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./M Cilios vacios de Vorticella sp./A Phyllodina sp./B	Si	-	Aplicar Antiespumante
19.07.12	Irr - Comp - Nor	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./B Cilios vacios de Vorticella sp./B Vorticella sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
03.08.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Cilios vacios de Vorticella sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
10.08.12	Irr - Comp - Alt	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./M	No	-	Aplicar Antiespumante
17.08.12	Irr - Comp - Alt	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	No	No	-	Aplicar Antiespumante

24.08.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Cilios vacios de Vorticella sp./M Phillodina sp./B Vorticella sp./M	No	-	Aplicar Antiespumante
26.09.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
05.10.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./B Phillodina sp./B Vorticella sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante
11.10.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./B Vorticella sp./M	No	-	Aplicar Antiespumante
26.10.12	Irr - Comp - Exc	No	Nocardia sp./5	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./B Vorticella sp./M	No	-	Aplicar Antiespumante

## B.4 Til-Til

Tabla B.4 Detalle seguimiento microscópico SBR1 Til-Til.

Microscopías SBR1 PTAS Til-Til								
Licor Mezcla								
Fecha	OBS de los floculos	Zooglea	Tipo filamentosa (Abundancia)	OBS de las filamentosas	Bioindicadores (Abundancia)	Otras bacterias	Observaciones	Recomendaciones
17.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Vorticella sp./A Phillodina sp./B Opercularia sp./M	No	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
24.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
31.08.12	Irr - Ab - Alt	No	M. parvicella/1 Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Cilios vacios de Vorticella sp./B Opercularia sp./A Euchlanis sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.09.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./B Cilios vacios de Vorticella sp./M Phillodina sp./B Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
12.09.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Vorticella sp./B Cilios vacios de Vorticella sp./B Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito

26.09.12	Irr - Comp - Nor	No	Nocardia sp./1	-	Aspidisca sp./B Vorticella sp./B Cilios vacios de Vorticella sp./B Phillodina sp./B Operculariasp./M	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.10.12	Irr - Ab - Nor	No	Nocardia sp./2	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./A Vorticella sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
<b>Espuma</b>								
17.08.12	Irr - Comp - Alt	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Vorticella sp./M Phillodina sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante

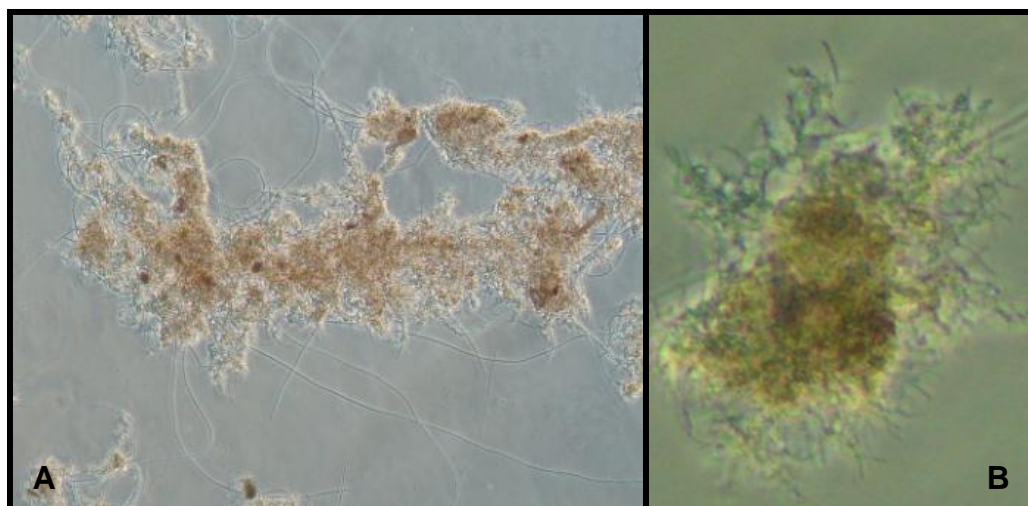
**Tabla B.5** Detalle seguimiento microscópico SBR2 Til-Til.

<b>Microscopías SBR2 PTAS Til-Til</b>								
<b>Licor Mezcla</b>								
Fecha	OBS de los flóculos	Zooglea	Tipo filamentosa (Abundancia)	OBS de las filamentosas	Bioindicadores (Abundancia)	Otras bacterias	Observaciones	Recomendaciones
17.08.12	Irr - Ab - Nor	Si	M. parvicella/3 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./M Opercularia sp./B Euchlanis sp./B Vorticella sp./A Phillodina sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
24.08.12	Irr - Ab - Nor	Si	M. parvicella/2 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./M Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito

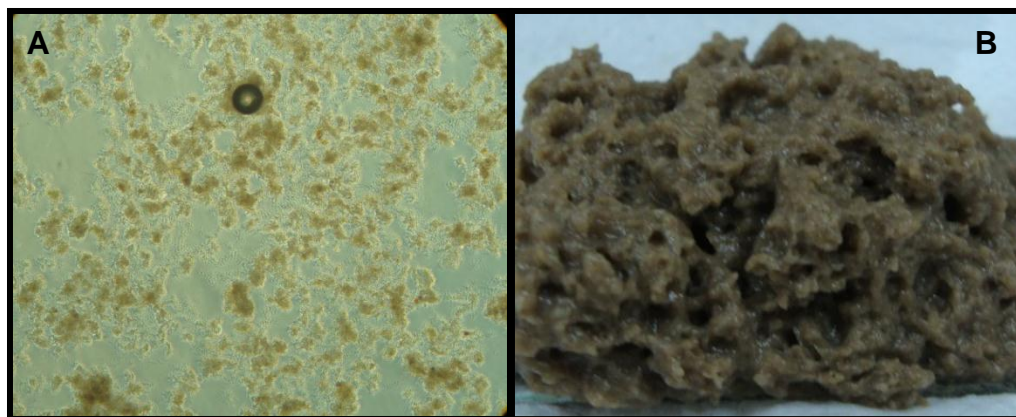
31.08.12	Irr - Ab - Nor	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./3	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Opercularia sp./A Euchlanis sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
07.09.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./B Opercularia sp./M Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
12.09.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./3	En el floc y ramificaciones	Opercularia sp./M Vorticella sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.09.12	Irr - Ab - Nor	No	Nocardia sp./2	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./B Opercularia sp./A Euchlanis sp./B Vorticella sp./B Phillodina sp./B	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
26.10.12	Irr - Ab - Alt	No	Nocardia sp./2	En el floc y ramificaciones	Aspidisca sp./A Opercularia sp./A	Si	IVL <250 mL/g	No aplicar Hipoclorito
<b>Espuma</b>								
17.08.12	Irr - Comp - Nor	No	M. parvicella/2 Nocardia sp./4	En el floc, puentes y ramificaciones	Aspidisca sp./B Opercularia sp./B	No	-	Aplicar Antiespumante



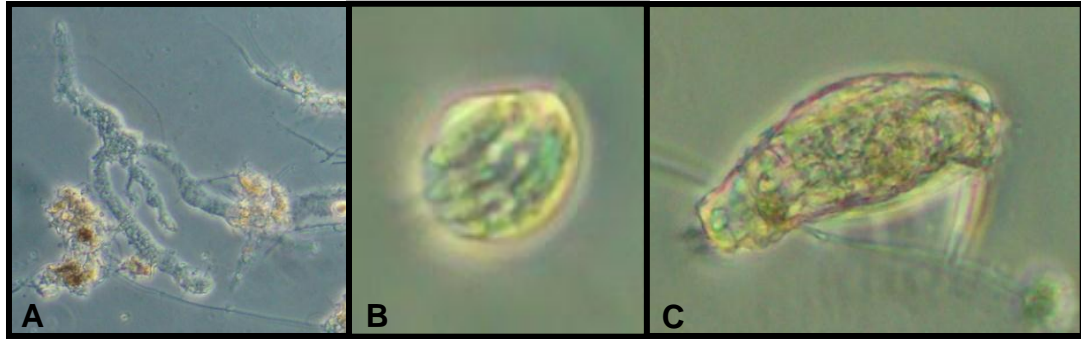
En las **Figura B.1, B.2, B.3, B.4 y B.5** se muestran algunas imágenes correspondientes a las bacterias y muestras observadas en los distintos reactores biológicos de las plantas estudiadas durante el seguimiento microscópico.



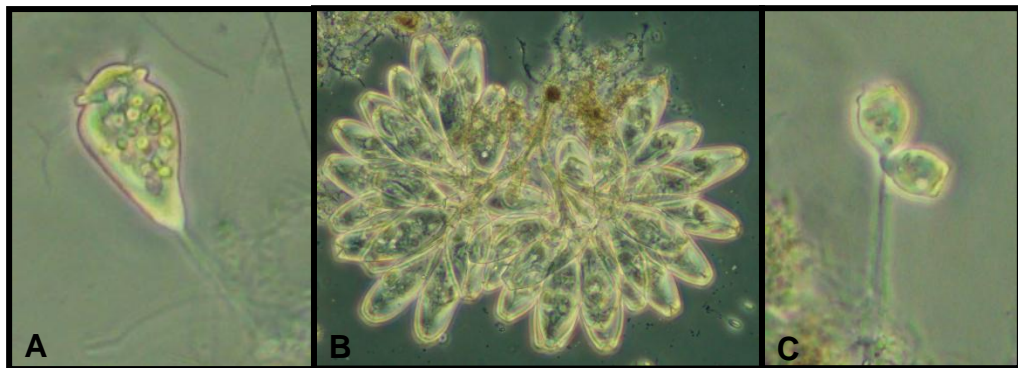
**Figura B.1 A)** *M. parvicella*, licor mezcla SBR3 11.10.12, El Monte, **B)** *Nocardia* sp., licor mezcla SBR2 24.08.12, El Monte.



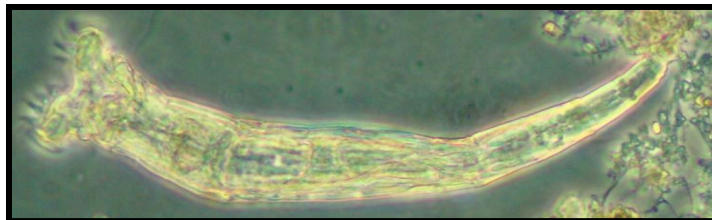
**Figura B.2 A)** Observación espuma SBR1 24.08.12, Curacaví, **B)** Muestra espuma SBR2 10.08.12, Curacaví.



**Figura B.3** **A)** Zooglea, licor mezcla SBR1 07.06.12, El Monte, **B)** Aspidisca sp., licor mezcla SBR2 26.09.12, Til-Til y **C)** Euchlanis sp., licor mezcla SBR3 27.07.12, El Monte.



**Figura B.4** **A)** Vorticella sp., licor mezcla SBR1 29.06.12, Curacaví, **B)** Opecularia sp., licor mezcla SBR1 12.09.12, Til-Til y **C)** Cilios vacíos de Vorticella sp., Espuma SBR1 27.07.12, El Monte.



**Figura B.5** Phillodina sp., licor mezcla 26.10.12, San José de Maipo.

## **C. Protocolo de Acción para el Control Preventivo y Correctivo de los Fenómenos de Bulking y Espumas Asociados a Bacterias Filamentosas**

Este documento corresponde al entregado y posteriormente validado por el área de calidad de aguas servidas de la empresa sanitaria Aguas Andinas S.A.

### **I. Alcance y Campo de Aplicación**

Este documento tiene como objetivo entregar instrucciones a seguir para un correcto proceder frente a los problemas de Bulking Filamentoso y Espumas superficiales en reactores biológicos, proponiendo acciones tanto para el control preventivo como correctivo de estos fenómenos.

Su aplicación corresponde a plantas de tratamiento de aguas servidas por lodos activados con aireación extendida, ya sean con flujo continuo o Batch (SBR o DIAPAC), como lo son las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de Aguas Andinas S.A., ubicadas en las siguientes localidades: Buin Maipo, Curacaví, El Monte, Melipilla, Paine, Pomaire, San José de Maipo, Til-Til y Trapenses.

### **II. Extracción de Muestras desde Reactores Biológicos**

#### **II.1. Muestra de Licor Mezcla.**

##### **II.1.1. Equipos y Materiales:**

1. Envases de muestreo de polipropileno de 250 mL.
2. Contenedor para traslado de muestras (cooler con ice pack).
3. Recipiente plástico graduado (jarro) provisto de una cuerda, testigo de Lodo.

### II.1.2. Extracción de la muestra:

1. La muestra debe ser tomada al minuto 5 de iniciada la aireación, primer sub-ciclo en al caso de reactores tipo SBR.
2. Sumerja el testigo de lodo en el licor mezcla (reactor biológico) a una profundidad mínima de 1.5 metros, procurando no tocar las paredes del reactor u otros elementos (escaleras, piping) para no contaminar la muestra.
3. Una vez sumergido el testigo de lodo, se debe enjuagar al menos dos veces para ambientar.
4. Abrir el envase de muestreo, el cual debe estar rotulado con la siguiente información: Planta, N° de SBR, tipo de muestra, fecha, hora, pH y T° (**Figura 1**).

Área Control de Calidad de Aguas y Procesos			
PTAS – EL MONTE			
SBR 1		LICOR MEZCLA	
Fecha:	Hora:	T°:	pH:

**Figura 1:** Ejemplo de etiqueta Licor Mezcla.

5. Ambientar el envase de muestreo al menos dos veces (enjuagando con la muestra extraída).
6. Llene el envase sin rebalsar, hasta alcanzar un volumen máximo de 100 mL, con lo cual permitirá un lento agotamiento del oxígeno disponible en el mismo.
7. Cierre y disponga el envase en el contenedor de traslado (cooler con ice pack).
8. Traslade la muestra al laboratorio durante el día en que fue extraída la muestra.

### II.2. Muestra de Espuma.

#### II.2.1. Equipos y Materiales:

1. Envases de muestreo de polipropileno de 250 mL.
2. Contenedor para traslado de muestras (cooler con ice pack).
3. Recipiente plástico graduado (jarro) provisto de una cuerda, testigo de lodo.

### II.2.2. Extracción de la muestra:

1. La muestra deber ser tomada durante el proceso de sedimentación o agitación (para flujo continuo), ya que la espuma presenta mayor consistencia en estas etapas.
2. Sumerja el recipiente en la espuma contenida en el reactor biológico, procurando que no entre lodo líquido en la muestra, y de no tocar las paredes del reactor u otros elementos (escaleras, piping) para no contaminar la muestra.
3. Una vez sumergido el testigo de lodo, se debe enjuagar al menos dos veces para ambientar.
4. Abrir el envase de muestreo, el cual debe estar rotulado con la siguiente información: Planta, N° de SBR, tipo de muestra, fecha, hora, pH y T° (**Figura 2**).

Área Control de Calidad de Aguas y Procesos			
PTAS – EL MONTE			
SBR 1		ESPUMA	
Fecha:	Hora:	T°:	pH:

**Figura 2:** Ejemplo de etiqueta Espumas.

5. Ambientar el envase de muestreo al menos dos veces (enjuagando con la muestra extraída).
6. Llene el envase sin rebalsar.
7. Cierre y disponga el envase en el contenedor de traslado (cooler con ice pack).
8. Traslade la muestra al laboratorio durante el día en que fue extraída la muestra.

### II.3. Traslado y Almacenamiento de la Muestra.

Las muestras frescas (recién extraídas), deben ser trasladadas lo antes posibles al laboratorio para su observación, de no ser así el tiempo máximo para realizar la microscopía es de 6 horas, ya que, una vez transcurrido ese tiempo se corre el riesgo de perder información, por lo cual, la información obtenida tiende a ser mucho menos representativa.

En la planta las muestras deben ser mantenidas en el refrigerador a temperaturas menores que 10°C, idealmente a 6°C ± 2°C (según standar Methods for the examination of water and wastewater, preservación de muestras microbiológicas).

Para su traslado, las muestras deben ser dispuestas en un cooler (plástico o aislapol) con ice pack, como se muestra en la **Figura 3** (también se debe mantener una temperatura menor que 10°C, idealmente a 6°C ± 2°C). Debe haber un cooler y ice pack exclusivos para el set de muestras de cada planta, de esta forma evitamos algún tipo de contaminación cruzada entre las muestras. El cooler debe estar rotulado tal como se muestra en la **Figura 4**.



**Figura 3:** A) Cooler, B) Ice pack y C) Disposición de las muestras para su traslado.



**Figura 4:** Rotulación Cooler, PTAS Aguas servidas Curacaví, Calidad de Aguas.

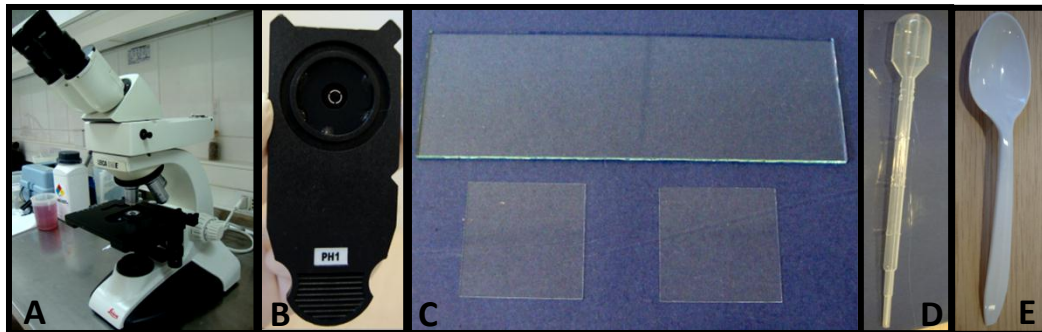
### III. Observación Microscópica

#### III.1. Equipos y Materiales:

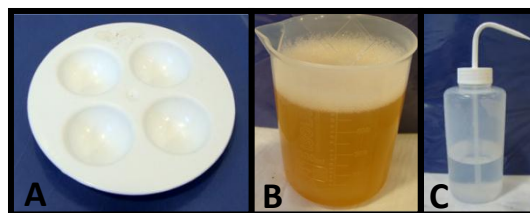
1. Microscopio con contraste de fases.
2. Computador con Software

3. Porta objeto (1 por cada muestra).
4. Cubre objeto (2 por cada muestra, luego de utilizados se deben desechar, o como alternativa, dejarlos en una solución con hipoclorito de sodio, y recuperarlos luego de 24 horas sumergidos en dicha solución).
5. Gotario, 1 unidad por cada muestra para evitar contaminación (luego se deben desechar, o como alternativa, dejarlos en una solución con hipoclorito de sodio, y recuperarlos luego de 24 horas sumergidos en dicha solución).
6. Mezclador.
7. Espátula y/o Cuchara de plástico.
8. Pinzas.
9. Agua destilada.
10. Vaso de precipitado con solución para lavado (agua potable + jabón desinfectante, para descartar los porta objetos que luego deben ser lavados).
11. Papel tissue.
12. Toalla de papel.

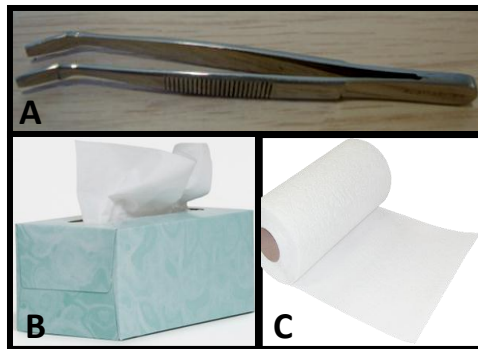
Los materiales pueden ser observados en las **Figuras 5, 6 y 7**.



**Figura 5:** **A)** Microscopio, **B)** Contraste de fases, **C)** Porta y cubre objetos, **D)** Gotario y **E)** Cuchara de plástico.



**Figura 6:** **A)** Mezclador, **B)** Solución de lavado y **C)** Agua destilada.

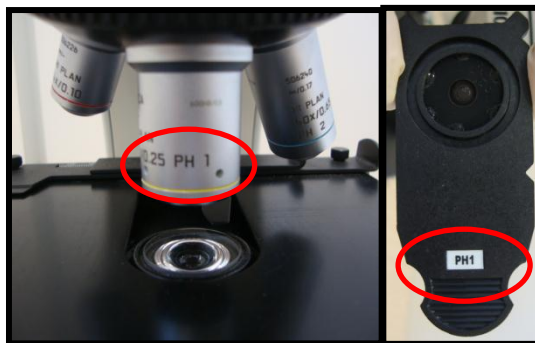


**Figura 7:** A) Pinzas, B) Papel tissue y C) Toalla de papel.

### III.2. Acondicionamiento del Microscopio y la Muestra:

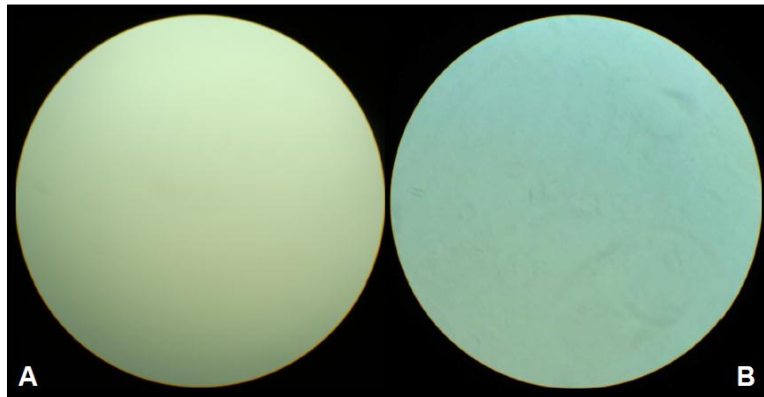
#### III.2.1. Preparación del microscopio:

1. Desempacar el microscopio e instalarlo de acuerdo al manual del equipo.
2. Encender el computador y colocar operativo el software.
3. Encender el aparato, insertar y ajustar el contraste de fases según manual de funcionamiento. Los valores del contraste de fases y el lente a utilizar deben coincidir tal como se muestra en la **Figura 8**. Para ajustar la visual se debe observar lo indicado en la **Figura 9**.



**Figura 8:** El Contraste de fase debe coincidir con el Objetivo elegido.



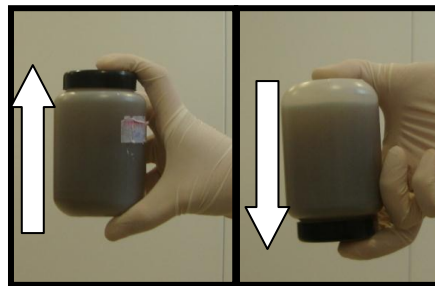


**Figura 9:** Visualización sin y con contraste de fase (A y B respectivamente), previo a la colocación de la muestra.

### III.2.2. Preparación de la muestra:

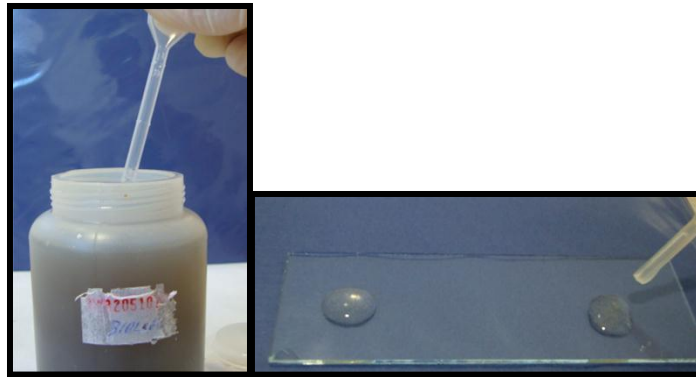
#### III.2.2.1. Licor Mezcla:

1. Homogenizar suavemente la muestra, agitando el envase lentamente por unos 10 segundos (debe ser suave para no romper los flóculos formados), como se muestra en la **Figura 10**.

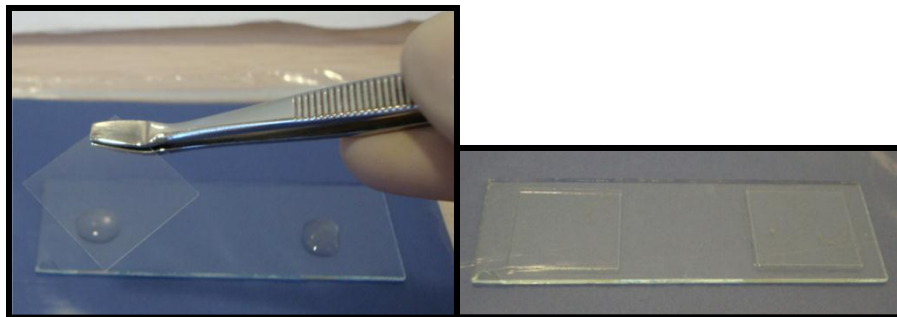


**Figura 10:** Homogenización de la muestra.

2. Con el gotario tomar una alícuota del licor mezcla, (para esto se debe sumergir el gotario hasta la mitad del envase y ambientarlo unas 3 veces, luego tomar muestra definitiva) y depositar dos gotas de muestra en el porta objetos, una en cada extremo, tal como se muestra en la **Figura 11**.
3. Colocar 1 cubre objeto por cada gota, Para mayor comodidad tomar el cubre objetos con las pinzas, tal como se muestra en la **Figura 12**.



**Figura 11:** Extracción y deposición de la muestra.



**Figura 12:** Colocación de cubre objetos.

### III.2.2.2. Espuma:

1. Homogenizar suavemente la muestra, agitando el envase lentamente por unos 10 segundos (ver **Figura 10**).
2. Con la cuchara de plástico, tomar una cantidad de espuma, representativa, es decir, se debe tomar la muestra sumergiendo la cuchara hasta la mitad del envase, como se muestra en la **Figura 13**.



**Figura 13:** Toma muestra de espuma.

3. Colocar una porción de la muestra extraída en el mezclador, agregar agua destilada y revolver, como se muestra en la **Figura 14**. Se debe diluir la muestra para una mejor visualización de los microorganismos presentes.



**Figura 14:** Dilución de la espuma.

4. Con el gotario tomar una alícuota del licor mezcla, (para esto se debe sumergir el gotario en el mezclador y ambientarlo unas 3 veces, luego tomar muestra definitiva) y depositar dos gotas de muestra en el porta objetos, una en cada extremo, tal como se muestra en la **Figura 15** y en la **Figura 11**.

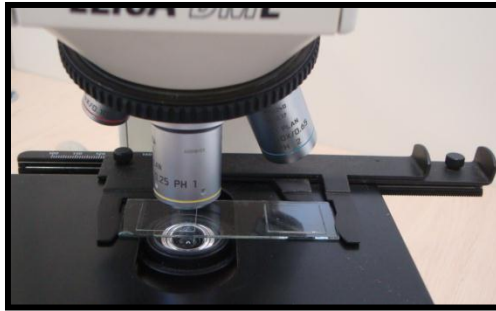


**Figura 15:** Dilución de la espuma.

5. Colocar 1 cubre objeto por cada gota, Para mayor comodidad tomar el cubre objetos con las pinzas (ver **Figura 12**).

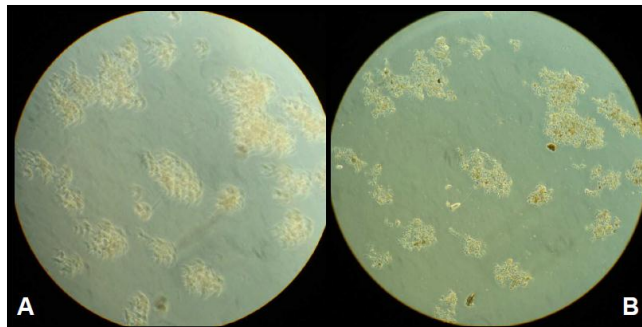
### **III.3. Observación de la Muestra:**

1. Colocar la muestra preparada sobre la platina del microscopio como se indica a continuación en la **Figura 16**.



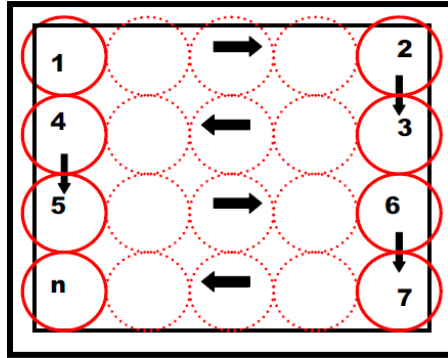
**Figura 16:** Instalación de la muestra en el microscopio.

2. Colocar el lente del microscopio en la posición 1, indicada en la **Figura 18**, encender el aparato, ajustar la visualización de la imagen para ver con claridad como se muestra en la **Figura 17** (ajustar tornillos macrométrico y micrométrico de acuerdo a manual de funcionamiento) y comenzar con la observación.



**Figura 17:** Ajuste de la imagen, **A)** Desenfoque y **B)** Enfoque correcto.

Se sugiere realizar la observación de forma ordenada para no perder información. Para eso se propone el siguiente plan de observación, el cual toma aproximadamente 15 minutos por muestra (cada muestra equivale a la observación de las dos gotas depositadas en el cubre objeto).



**Figura 18:** Plan de observación sugerido. El cuadrado negro representa al cubre objeto con la muestra, cada circunferencia de color rojo (segmentado y no segmentado) corresponde al alcance visual a través del lente y las flechas indican la dirección en la que se debe mover la platina para seguir la observación.

### III.3.1. Características Físicas de la Muestra.

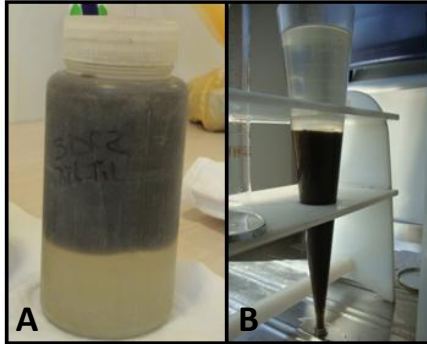
Observación de las características físicas de la muestra, como por ejemplo, olor, color, etc., que puedan dar señales de problemas particulares ocurridos en las plantas al momento de la toma de muestra o en periodos de tiempo mayores.

#### III.3.1.1. Licor Mezcla:

En el caso de las muestras de licor mezcla, podemos observar las siguientes características:

1. Olor: En caso de presencia de RIL puede alterarse el olor característico del licor mezcla. Este olor atípico puede dar señales del tipo de RIL, como por ejemplo, hidrocarburos.
2. Color: El color normal del licor mezcla es café, cualquier otra coloración puede ser señal de problemas en el reactor biológico, las más comunes son: Deficiencia en la mezcla, baja concentración de oxígeno disuelto y presencia de RIL.
3. Grasas: La presencia excesiva de grasas en el reactor biológico puede indicar ingresos de RIL o problemas en la unidad de pre-tratamiento.
4. Reflote: En el caso de observar la muestra con reflote esto puede indicar exceso de oxígeno disuelto, lo que no permite una correcta desnitrificación aumentando la presencia de gases (Nitrógeno) en el lodo lo que provoca que este flote. Para asegurarse de que se trata de reflote y no de una superposición del lodo a causa de

películas de grasa, se recomienda realizar una agitación de la muestra en una probeta o cono imhoff por un minuto y dejar decantar por 10 a 15 minutos; si el lodo decanta estamos en presencia de reflote (ver **Figura 19**).



**Figura 19: A) Reflote y B) Decantación.**

### III.3.1.2. Espuma:

En el caso de las muestras de espuma, podemos observar las siguientes características:

Color: Blancas: La formación de espumas blancas indican lodos jóvenes como en etapa de puesta en marcha o edades de lodo demasiado bajas.

Marrones: La formación de espumas marrones indican altas edades de lodo, baja carga másica o alta concentración de SSTLM, y que son variables que se interrelacionan entre sí.

Muy oscuras o negras: La formación de estas espumas indican tanto una aireación insuficiente, que resulta en condiciones anaeróbicas, o bien la presencia de RIL.

Grasas: Espumas que particularmente presenten excesos de grasas pueden indicar ingresos de RIL o problemas en la unidad de pre-tratamiento. En general los problemas de espumas se dan bajo exceso de grasas y bajas temperaturas.

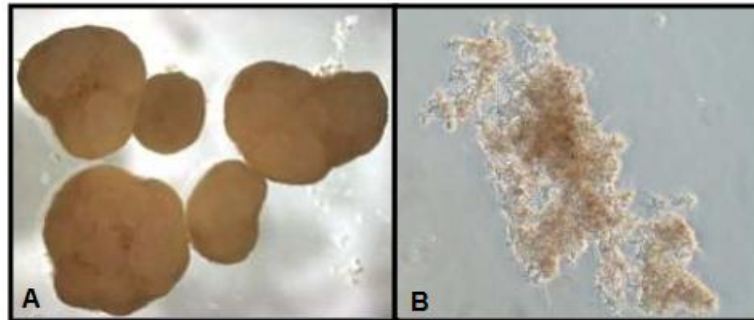
### III.3.2. Observación de los Flóculos:

#### III.3.2.1. Forma:

1. Regular y esférica: Si las partículas floculares presentan forma regular, como en la **Figura 20 A)**, esto indica que el flóculo es inmaduro, tal como se muestra al

comienzo del proceso o en la recuperación de este ante algún evento de inhibición de la biomasa.

2. Irregular: Si las partículas floculares presentan forma irregular, como en la **Figura 20 B)**, esto indica que la presencia de organismos filamentosos y otros bioindicadores es beneficiosa y el efluente es de buena calidad.



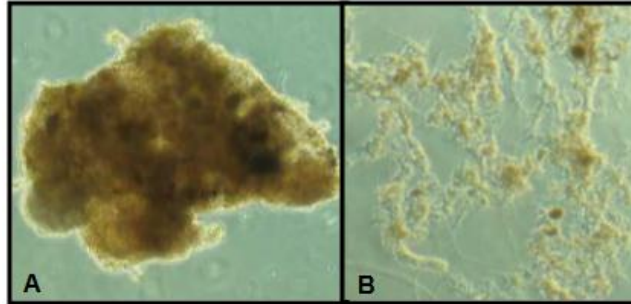
**Figura 20:** A) Regular y esférico y B) Irregular.

### III.3.2.2 Estructura:

La correcta formación de los flóculos determina la calidad de los lodos activos, puesto que está relacionada con la sedimentabilidad, el Bulking, el espesamiento del lodo, y con la calidad final del efluente.

Tenemos dos tipos de estructura, compacta y abierta. Para la correcta separación entre las fases líquida y sólida que forman el licor mezcla, los flóculos deben tener una estructura lo más compacta posible.

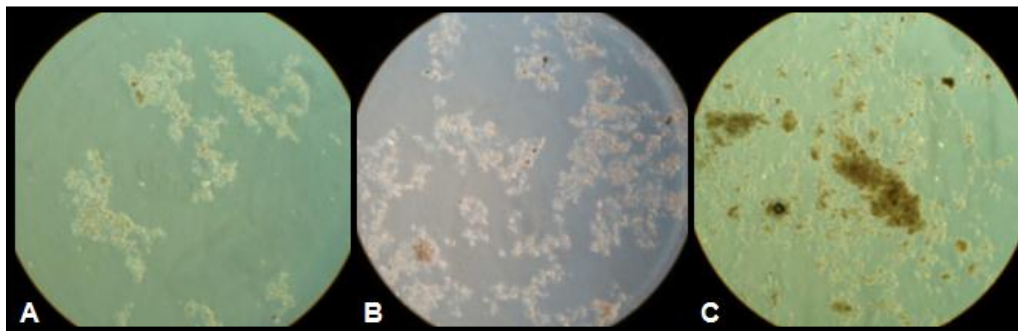
1. Compacta: Flóculos bien definidos, que pueden ser irregulares pero sus límites son fáciles de distinguir, no presentan sobre crecimiento de bacterias filamentosas y en ellos casi no se observan huecos en su interior (muy pequeños), como se observa en la **Figura 21 A)**.
2. *Abierto*: Debido a la acción de la proliferación excesiva de bacterias filamentosas los flóculos suelen disgregarse aumentando de tamaño, presentando márgenes difíciles de distinguir, formas irregulares y grandes huecos en el interior, como se muestra en la **Figura 21 B)**.



**Figura 21: A) Compacta y B) Abierta.**

### III.3.2.3 Dispersión:

Contamos con 3 clasificaciones de acuerdo al grado de dispersión de los flóculos, Normal, Alta y Exceso (**Figura 22**). Mientras una dispersión normal del floc es indicio de un lodo en buenas condiciones una dispersión alta o en exceso puede indicar un lodo demasiado joven, la presencia de material tóxico, aireación mecánica excesiva o un periodo demasiado largo a niveles bajos de oxígeno disueltos.



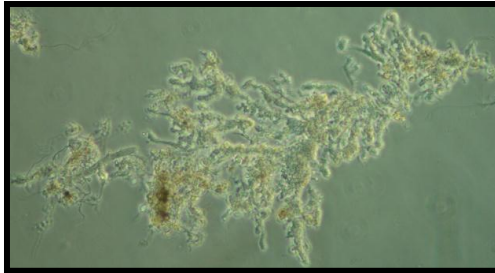
**Figura 22: A) Normal, B) Alta y C) Exceso.**

### III.3.3. Presencia de Zooglea:

La Zooglea ramífera, que puede ser observada en la **Figura 23**, es una agrupación dentrítica de distintas especies de bacterias aeróbicas, en forma de dedo, arbolito o astas, cuyas bacterias son formas bacilares, insertas en mucílago gelatinoso, translúcido y, participantes en los procesos de floculación. Por esto último cuando estas son observadas significa que existe una buena floculación del lodo mixto en el reactor biológico.

Durante la microscopía sólo se debe hacer alcance si esta bacteria fue o no observada, anotando con la palabra sí en el caso de ser positivo y no en el caso contrario: SI / NO.



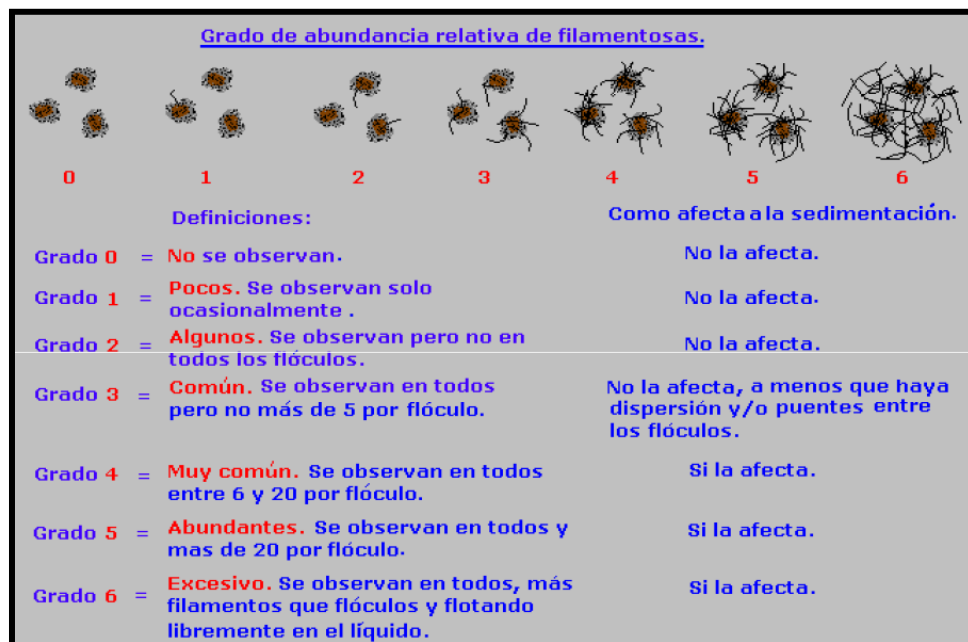


**Figura 23:** Zooglea ramífera SJM 2012.

### III.3.4. Filamentosas:

#### III.3.4.1 Grado de Abundancia:

A través de la observación se debe determinar el grado de abundancia (crecimiento o proliferación) de las bacterias filamentosas presentes en la muestra, para esto debemos hacer el respectivo conteo de los filamentos identificados en cada flóculo. A continuación en la **Figura 24** se observa un diagrama propuesto por Jenkins y col (1948) sobre los grados de abundancia relativa de filamentosas, que va de 0 a 6 de menor a mayor proliferación respectivamente.



**Figura 24:** Grado de abundancia de bacterias filamentosas propuesta por Jenkins y col en 1948.

### III.3.4.2 Libres Móviles:

Referido a la observación de una bacteria filamentosa particular denominada *Beggiatoa* sp. observada en la **Figura 25**, cuya característica principal es que presenta movilidad, además indica presencia de azufre, ya que habita en ambientes ricos en Azufre oxidando el H<sub>2</sub>S.

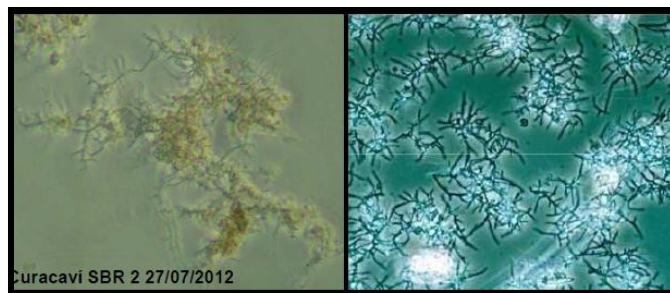
Durante la microscopía sólo se debe hacer alcance si esta bacteria fue o no observada, anotando con la palabra SI en el caso de ser positivo y NO en el caso contrario: SI / NO.



**Figura 25:** *Beggiatoa*, se pueden apreciar partículas luminosas en su estructura correspondientes a material de Azufre.

### III.3.4.3 Detalle de las Filamentosas:

1. En el flóculo: Observar si las bacterias se encuentran asociadas al flóculo, S / N (SI/NO), (ver **Figura 24**).
2. Puentes entre floc: Observar si existen puentes interfloculares, es decir, filamentos que se encuentren asociados a dos flóculos distintos, S / N (SI/NO), (ver **Figura 24**).
3. Ramificaciones: Aplica en el caso de existir *Nocardia amarae* que es una bacteria de filamento corto que presenta ramificaciones verdaderas como se observa en la **Figura 26** (OBS). Observar la presencia de esta bacteria, S / N (SI/NO).



**Figura 26:** Ramificaciones de *Nocardia amarae*.

OBS: Sólo existen dos filamentos que exhiben ramificación; uno de ellos posee ramificación verdadera y el otro falsa. La bacteria *Nocardia amarae* (**Figura 27**) es la que presenta ramificaciones verdaderas y la *Sphaerotilus natans* (**Figura 28**) la que posee ramificaciones falsas.

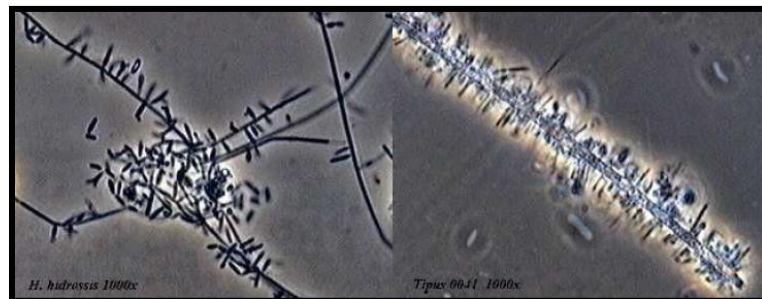


**Figura 27:** Ramificación verdadera



**Figura 28:** Ramificación falsa.

4. Adherencias: Algunos filamentos poseen células bacterianas pegadas al costado, en forma perpendicular al filamento como se muestra en la **Figura 29**. Existen tres filamentos en que comúnmente ocurre este fenómeno: Tipo 0041, Tipo 0675, y Tipo 1701. Observar si existen adherencias colocando S/N (SI/NO).



**Figura 29:** Bacterias filamentosas con adherencias.

#### III.3.4.4 Tipo de Filamentosas:

Las especies de bacterias filamentosas predominantes en las muestras de licor mezcla y espumas de los reactores biológicos de las PTAS de localidades de Aguas Andinas S.A. son las *Microthrix parvicella* sp. y *Nocardia amarae* sp. (filamento largo y corto respectivamente **Figura 31 A) y B)**), pero también existe la posibilidad de que bajo ciertas condiciones proliferen otros tipos de bacterias.

En este ítem se debe describir a la bacteria observada, detallando las características físicas del filamento (largo, corto, etc.), si presenta puentes, adherencias, etc. y además se

debe dar el nombre del tipo encontrado. A continuación en la **Figura 30** se muestran los tipos de bacterias filamentosas más comunes en las plantas de tratamiento de aguas servidas, y algunas condiciones que favorecen a su desarrollo.

Presencia de bacterias filamentosas y condiciones que favorecen su desarrollo	
Tipo de filamentosas presente.	Condición que favorece su desarrollo
<i>S. natans</i> , <i>H. hydrosis</i> , Tipo 1701	Baja concentración de oxígeno disuelto (DO)
<i>M. parvicella</i> , <i>H. hydrosis</i> , Tipo 021N Tipos 0041, 0675, 0092, 0581, 0961 y 0803, <i>Nocardia ssp</i> , <i>N limicola</i>	Baja relación F/M
<i>Thiothrix spp</i> , <i>Beggiatoa spp</i> , Tipo 021N	Condiciones sépticas, presencia de sulfuros
<i>Thiothrix spp</i> , <i>S. natans</i> , Tipo 021N, <i>H. hydrosis</i> y Tipos 0041, 0675	Deficiencia de nutrientes Nitrógeno, Fósforo
Hongos (No son bacterias)	pH bajo lo normal (<6.5)
<b>Filamentosas productoras de Espuma</b>	
<i>M. parvicella</i>	Presencia de grasas o aceites Temperatura baja
<i>Nocardia spp.</i>	Alto tiempo de retención hidráulico. Presencia de grasas o aceites. Temperatura moderada.
Tipo 1863	O.D. bajo, pH bajo, Presencia de grasas o aceites

**Figura 30:** Tipos de bacterias filamentosas y condiciones favorables para su proliferación.

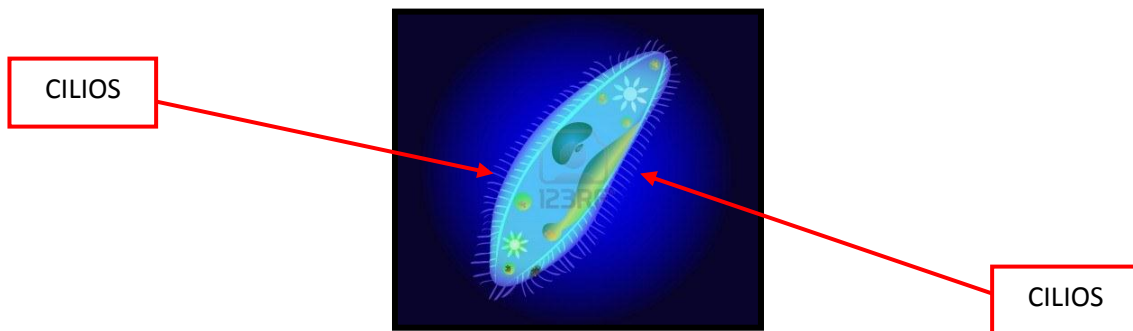


**Figura 31:** A) *Microthrix parvicella* y B) *Nocardia amarae*.

### III.3.5 Diversidad Bacteriana:

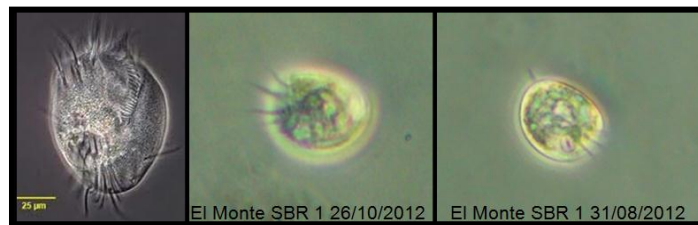
#### III.3.5.1 Bioindicadores:

1. Zooglea: Indicador de buena floculación (ver ítem III.3.3)
2. Ciliados: Los ciliados son organismos microscópicos unicelulares, que se encuentran generalmente en muestras de agua. Se caracterizan por presentar unas estructuras filiformes denominadas cilios observados en la **Figura 32**, los cuales pueden rodear toda la célula o parte de ella. Los cilios, les sirven tanto para desplazarse como para crear corrientes que lleven alimento hacia su boca.



**Figura 32:** Característica genera de los ciliados.

2.1 Ciliado móvil: El ciliado móvil utilizado como bioindicador para nuestras observaciones, es la *Aspidisca* sp. indicado en la **Figura 33**, que es indicador de buena calidad del lodo y buena calidad del efluente.



**Figura 33:** *Aspidisca* sp.

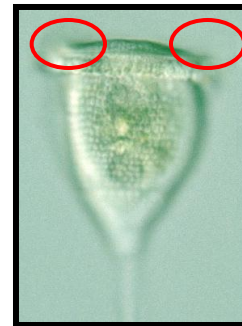
2.2 Ciliados Fijos: Los ciliados fijos utilizados como bioindicadores para nuestras observaciones son:

Vorticella sp (**Figura 34**): Están presentes cuando la calidad del efluente es alta.



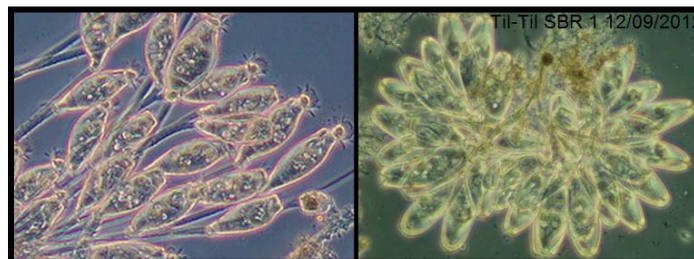
**Figura 34:** Vorticella sp.

Cilios vacíos de Vorticella sp.: Se encuentran presentes en medios con bajo oxígeno disuelto o tóxicos (presencia de RIL). Se diferencian de la Vorticella por la ausencia de las aspas giratorias que se encuentran en la parte superior de su estructura (ver **Figuras 35 y 36**).



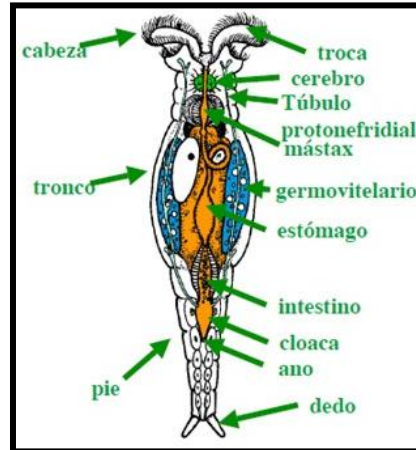
**Figura 35:** Vorticella con aspas giratorias. **Figura 36:** Vorticella sin aspas giratorias.

Opercularia sp. (**Figura 37**): Indicador de sobre carga de masa orgánica, bajo oxígeno disuelto o toxicidad (presencia de RIL).



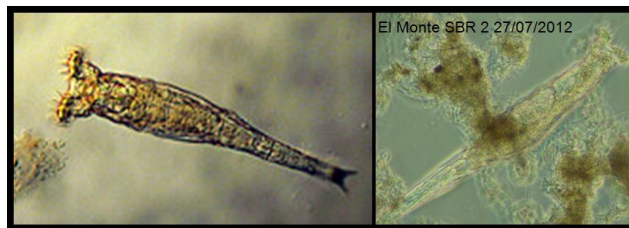
**Figura 37:** Opercularia sp.

2.3 Rotíferos: Son organismos muy diversos en formas que se caracterizan por dos elementos particulares como son la corona de cilios de la cabeza y el trophi o estructura masticatoria, tal como se observa en la **Figura 38**.



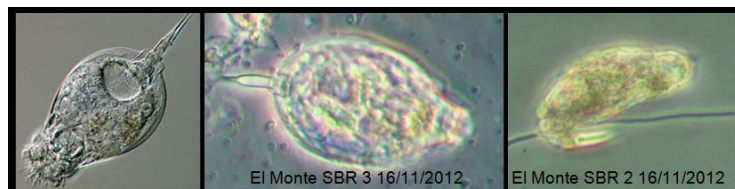
**Figura 38:** Características de los rotíferos.

Phyllodina sp. (**Figura 39**): Es el rotífero comúnmente observado en las PTAS de Aguas Andinas S.A. Es Indicador de una alta eficiencia del agua depurada.



**Figura 39:** Phyllodina sp.

Euchlanis sp. (**Figura 40**): Están presentes cuando la calidad del efluente es buena. Indicador de suministro continuo de oxígeno, mantención de condiciones aerobias.



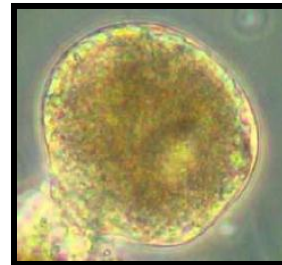
**Figura 40:** Euchlanis sp.

### III.3.5.2 Otras Bacterias:

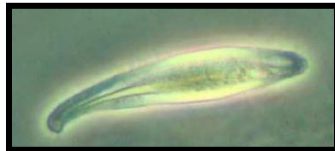
Bacterias que también son observadas comúnmente en las PTAS de localidades de Aguas Andinas S.A., Algunos de estos microorganismos pueden ser observados en las Figuras 41 a la 47.



**Figura 41:** Prorodón sp.



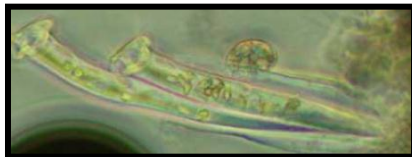
**Figura 42:** Holophrya sp.



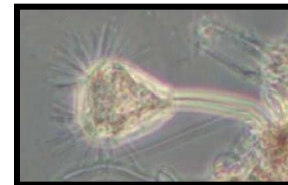
**Figura 43:** Litonotus sp.



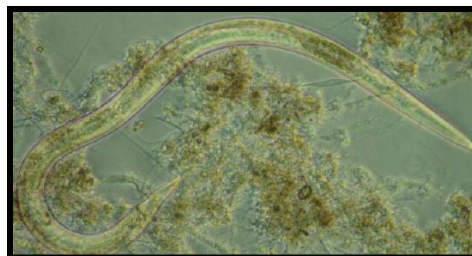
**Figura 44:** Spirostomum sp.



**Figura 45:** Vaginícola subcrystallina sp.



**Figura 46:** Infusorio suctor sp.



**Figura 47:** Nematodo.



#### IV. Revisión de Parámetros Operativos

Para poder correlacionar lo observado en la microscopía y lo ocurrido en las plantas se deben recopilar los datos operativos de esta, cuyos valores indican si es que existen problemas y de qué tipo son o donde está fallando el proceso. Los parámetros utilizados se indican en la **Tablas 1** a la **3**.

**Tabla 1:** Datos de planta afluyente.

DATOS DE PLANTA						
BLOQUE	COMPONENTE	UNIDAD	RANGO ACEPTADO	BASE DE DATOS/PLANILLAS	FUERA DE RANGO	OBSERVACIÓN
AFLUENTE	Conductividad	us/cm	< 2000	SCT	SI/NO	Si el valor sale de rango puede indicar la presencia de RIL.
	pH	u	6,5 a 8,0	SCT	SI/NO	Si el valor sale de rango puede indicar la presencia de RIL.
	DBO5	mg/L	<400	INFOMAKER	SI/NO	Valores mayores que el mencionado pueden indicar el ingreso de agua con características diferentes al agua servida convencional.
	SST	mg/L	<400	INFOMAKER	SI/NO	Valores mayores que el mencionado pueden indicar el ingreso de agua con características diferentes al agua servida convencional.

	SSV/SST	%	65 - 80	INFOMAKER	SI/NO	Valores mayores que el mencionado pueden indicar el ingreso de agua con características diferentes al agua servida convencional.
	A y G	mg/L	<70	INFOMAKER	SI/NO	El exceso de grasas sumada a las bajas temperaturas puede provocar emulsión y formación de espumas.

**Tabla 2:** Datos de planta tratamiento biológico.

DATOS DE PLANTA						
BLOQUE	COMPONENTE	UNIDAD	RANGO ACEPTADO	BASE DE DATOS/PLANILLAS	FUERA DE RANGO	OBSERVACIÓN
TTO BIOLÓGICO	SST	mg/L	1200 a 4500	CP/DATOS PLANTA	SI/NO	-
	SSV	% de SST	50 a 80	CP/DATOS PLANTA	SI/NO	-
	V30	mL/L	100 a 900	SCT	SI/NO	-

	IVL	mL/g	< 250	DATOS PLANTA/CALCULAR	SI/NO	Sobre el rango indica problemas de bulking filamentoso.  $IVL = (V30 / SSV_{LM}) * 1000$
	OD	mg/L	1,5 - 2,5	SCT	SI/NO	Bajo rango puede provocar proliferación de bacterias filamentosas.
	F/M	Adimensional	0,05 - 0,15	CALCULAR	SI/NO	Sobre el rango puede provocar bulking filamentoso. También se pueden generar a muy baja carga.  $F/M = DBO5 / SSV_{LM}$

**Tabla 3:** Datos de planta efluente, purga de lodos, deshidratación y otros.

DATOS DE PLANTA						
BLOQUE	COMPONENTE	UNIDAD	RANGO ACEPTADO	BASE DE DATOS/PLANILLAS	FUERA DE RANGO	OBSERVACIÓN
EFLUENTE	Cloro Residual	ppm	0,1 - 0,6	SCT/DATOS PLANTA	SI/NO	-
	pH	u	6,5 a 8,0	SCT	SI/NO	-

	Turbiedad	UNT	< 50	SCT	SI/NO	-
PURGA DE LODOS	Edad del Lodo	días	11 - 20	DATOS PLANTA/CALCULAR	SI/NO	Edad de Lodo = $V_{\text{reactor}} / Q_{\text{purga}}$
DESHIDRATACIÓN	%MS	%	>18	CP/DATOS PLANTA	SI/NO	-
OTROS	Presencia de RIL	-	-	BITÁCORA CCOD	-	Avisa la presencia de tóxicos, análisis visual que puede indicar características físicas del RIL, para identificar procedencia.

## V. Observaciones

Esto tiene que ver con traducir a palabras lo evidenciado en la microscopía y los datos de planta obtenidos, es decir, se deben comentar todas las congruencias e incongruencias entre ambas variables, de tal forma que sea entendible para cualquier lector.

**Ejemplo:** si contamos con la presencia de *M. parvicella* sp. en grado 3, más una alta abundancia de *Opercularia* sp. y un oxígeno disuelto 1 mg/L, las observaciones deberían ser del tipo: Se observa presencia de bacterias filamentosas, las que no evidencian problemas de bulking filamentoso debido al bajo grado de proliferación que presentan, además de observar una alta abundancia de *Opercularia* sp. la cual podría verse generada por el déficit de oxígeno disuelto, el cual se encuentra bajo el intervalo establecido de 1.5 a 2.5 mg/L. Esto puede ser observado en el *Anexo A. Formato del informe de microscopía utilizado por ACAL* (este formato está incluido en el protocolo de acción entregado en Aguas Andinas S.A., sólo para efectos de este escrito fue citado con anterioridad a este documento).

## VI. Recomendaciones

Se deben incluir recomendaciones con respecto a la utilización de insumos hipoclorito de sodio y antiespumante, por ejemplo:

En el caso de existir un alto grado de bacterias filamentosas cualquiera sea el tipo (comúnmente *M. parvicella* sp. y *Nocardia amarae* sp.), más una alta abundancia de algún bioindicador de malas condiciones del lodo, se recomendaría la utilización de hipoclorito para eliminar la sobrepoblación de bacterias filamentosas. En el caso contrario no se recomendaría la aplicación de este bactericida.

Para el caso del uso de antiespumante, este se recomienda siempre que existan espumas superficiales sobre los reactores biológicos, vale decir también, que de no existir este problema no se recomienda su uso.

En el caso que la causa de la proliferación de espumas sean bacterias filamentosas, se debe recomendar una aplicación simultánea de hipoclorito y antiespumante. De esta

forma el antiespumante dispersa las espumas integrando las bacterias al licor mezcla y luego es el hipoclorito quien las elimina.

Estas recomendaciones deben ser escritas en el informe de la microscopía y luego tanto la materialización de estas y las consignas de aplicación, son examinadas y dictadas por el área de calidad de aguas servidas de Aguas Andinas S.A.

## **VII. Elaboración de Informe**

Se debe elaborar un documento que contenga toda la información obtenida de la observación microscópica de las muestras (detalles del floc, Bacterias, fotografías, etc.), los datos planta del día en que fue tomada la muestra, observaciones, recomendaciones y eventualmente información adicional (como por ejemplo, exceso de sólidos en las muestras, reflotes, olores atípicos, etc.)

La información se debe ordenar como se indica en el ejemplo adjuntado en el *Anexo A. Formato del informe de microscopía utilizado por ACAL* (este formato está incluido en el protocolo de acción entregado en Aguas Andinas S.A., sólo para efectos de este escrito fue citado con anterioridad al documento anterioridad a este documento).

## **VIII. Acciones**

Una vez elaborado el informe de microscopía debe ser enviado al personal del área de calidad de Aguas – Depuración, quienes en definitiva aprueban o desaprueban las recomendaciones dadas.

Si la recomendación es aplicar insumos, ACAL debe entregar consignas de aplicación, tal como se muestran en las **Tablas 4 y 5**.

**Tabla 4:** Ejemplo: Consignas de aplicación de Hipoclorito de sodio.

PARÁMETRO	UNIDAD	08.03.2012
Dosis	(gCl/KgSSVLM)	3
Caudal Aplicación	(L/h)	4,5
Caudal Aforo	(mL/min)	-
Tiempo Aplicación	(h/día)	14
Horario de Aplicación	-	entre las 00:00 y las 14:00 horas
Reactor Bajo Aplicación	-	2
Consumo Hipoclorito	(L/día)	67
Duración aplicación	(días)	17

**Tabla 5:** Ejemplo: Consignas de aplicación de Antiespumante.

PARÁMETRO	UNIDAD	08.06.12	16.07.12
Caudal aplicación	(L/h)	42	42
Caudal aforo	(ml/min)	---	---
Tiempo aplicación	(h/aplicación)	1 Dos veces al día	1 Dos veces al día
Horario de aplicación	--	00.00 horas 15:00 horas (dos veces al día)	00.00 horas 15:00 horas (dos veces al día)
Consumo antiesp.	(L/día)	84	84
Duración Aplicación	(días)	14 (**)	14 (**)

Es obligación de operaciones verificar si existe *stock* suficiente para cumplir con las consignas asignadas, de no ser así se debe gestionar el envío de los insumos para realizar de forma íntegra las aplicaciones.

OBS: Otras acciones, como por ejemplo variaciones en la inyección de oxígeno, frecuencia de purgas, etc. También son ordenadas por ACAL.

## **IX. Seguimiento**

Se debe anotar durante cada día de aplicación los consumos de producto utilizado ya sea hipoclorito y/o antiespumante, tanto en las planillas de operaciones correspondientes como en el SCT. Esta información debe estar disponible para que el personal de ACAL pueda verificar si las aplicaciones se realizan de forma correcta.

En el caso de las espumas es necesario que además se informe diariamente el estado de la evolución del fenómeno, luego de una inspección visual, para verificar si ha sido efectuado de forma correcta la aplicación de productos.



## **D. Fichas Técnicas de Insumos Químicos Para Corregir el Bulking y las Espumas Superficiales**

Estas fichas técnicas corresponden a las entregadas por los proveedores de Hipoclorito de sodio y antiespumante de Aguas Andinas S.A.

### **D.1 Hipoclorito de Sodio.**

#### **Hipoclorito de Sodio, Brenntag.**

##### **DESCRIPCIÓN**

Solución acuosa, clara, ligeramente amarilla, olor característico penetrante e irritante. Fuertemente oxidante; dependiendo del pH de la solución se presenta disociado en forma de cloro activo, ácido hipocloroso HOCl y/o ión hipoclorito OCl<sup>-</sup>. De estas formas de “cloro libre activo” depende su reactividad en las reacciones de oxidación, cloración y acción bioquímica tales como el control bacteriológico y microbiológico.

##### **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

NaClO %p/p: 10% aprox. (9,5% de cloro activo).

Peso Molecular: 74,45

Densidad: 1,16 gr/cm<sup>3</sup> aprox.

Solubilidad en agua: 100%.

##### **APLICACIONES**

Potabilización de agua, clorador y sanitizante, tratamiento de aguas industriales, agroindustrias, blanqueador.

##### **CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO**

Dado que el NaOCl es una solución muy inestable y se descompone por la acción de impurezas catiónicas como hierro, aniónicas, temperatura, pH y la luz, el producto se debe proteger de estos factores. Se debe almacenar en áreas con excelente ventilación. El piso debe ser incombustible e Impermeable. Se deberá disponer de duchas y tomas de agua a presión en sitios de fácil acceso dentro del área. No se debe almacenar con sustancias incompatibles como ácidos y productos orgánicos.

## **MANEJO Y TRANSPORTE**

Las operaciones de cargue, transvase, dilución, descargue y toma de muestras de los envases o depósitos que contengan hipoclorito de sodio se deben realizar bajo excelente ventilación, utilizando los elementos de protección adecuados: gafas de seguridad y/o careta facial, respirador industrial con absorbente apropiado, guantes, botas y delantal de caucho.

**NOTA:** El hipoclorito de sodio se puede descomponer por acción del calor, por contacto con material férrico o por la acción de la luz solar, generando CLORO GASEOSO, altamente oxidante, irritante y corrosivo. Si se mezclan soluciones de hipoclorito de sodio con cualquier ácido, hay desprendimiento de cloro gaseoso. El transporte se efectuará en envases de fibra de vidrio, polipropileno, polietileno o en carro tanques construidos con los mismos materiales.

## **PRECAUCIONES Y RESTRICCIONES**

El hipoclorito de sodio es altamente corrosivo. Su inhalación o ingestión puede provocar desde leves irritaciones cutáneas hasta edemas pulmonares, perforaciones de esófago y estómago. Por contacto puede producir lesiones oculares, cutáneas, pulmonares y digestivas. Se recomienda leer la Hoja de Seguridad y el brochure del producto.

**NOTA:** El uso final del producto es de responsabilidad absoluta y aceptada por el cliente. La información se ha consignado a título ilustrativo y no substituye las patentes o licencias sobre el uso del producto.

## **D.2 Antiespumante.**

### **1. VERSINQUI BET-50, SINQUIVER.**

#### **DESCRIPCIÓN**

VERSINQUI BET-50 es una dispersión estable de baja viscosidad que se usa como desespumante/desaireador en el tratamiento de todo tipo de efluentes, especialmente en efluentes de tratamientos biológicos.

VERSINQUI BET-50 colapsa la espuma rápidamente y tiene además un prolongado efecto remanente de actividad, además de no causar ningún efecto nocivo en la biomasa.

## **COMPOSICIÓN**

VERSINQUI BET-50 es una combinación de derivados ácidos grasos y alcoholes grasos.

## **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Forma: líquido.

Olor: aromático.

Densidad: 0,9 - 1,0 gr/cc.

pH: 5,5 + 0,5.

Viscosidad: 100 - 300 mPa.s

Solubilidad en agua: dispersable.

Período de almacenamiento: 1 año.

Punto de inflamación: no tiene

## **APLICACIONES**

VERSINQUI BET-50 se usa como desespumante/desaireador en el tratamiento de varios tipos de efluentes, siendo un antiespumante muy ocupado en plantas de tratamiento biológico.

## **DOSIFICACIÓN**

VERSINQUI BET-50 tiene un rango de dosificación entre 1 y 10 PPM.

VERSINQUI BET-50 se dosifica puro directamente desde el envase a las canaletas, o en las piscinas de aireación.

## **PRECAUCIONES**

Mantener envases cerrados.

## **ALMACENAJE**

VERSINQUI BET-50 debe almacenarse en lugares bajo techo, alejados de las llamas y el calor.

## **ENVASE**

VERSINQUI BET-50 se expende en tambores de 190 kg. y contenedores de 950 Kg.

## **2. ALQ-010, Aguas Alquimias.**

### **IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO**

Antiespumante elaborado en base a mezclas de ésteres superiores, de muy alta calidad.

### **CARACTERÍSTICAS**

Aspecto: Líquido opaco.

Color: Marrón claro.

Densidad (20°C):  $0,89 \pm 0,02 \text{ gr/cm}^3$ .

Viscosidad Stormer: 50/52 unidades Krebs.

Materia activa: 100%.

Naturaleza iónica: No iónico.

### **UTILIZACIÓN**

Por su gran versatilidad el ALQ-010 permite su aplicación en distintos puntos de los circuitos y especialmente en las zonas más proclives a la formación de espuma.

Es imprescindible la realización de ensayos previos que permitan determinar la dosificación más adecuada para caso particular.

### **VENTAJAS Y PERFORMANCE**

La excelente acción como preventor de espuma del ALQ-010 se combina con unas óptimas características desaereantes. Su composición le confiere una alta inercia química, lo cual lo torna insensible a los cambios pronunciados de pH. La estabilidad de sus emulsiones lo convierte en un antiespumante limpio, que no genera depósitos indeseables en lugares donde la circulación natural tiende a dificultarse.

El ALQ-010 logra su acción antiespumante con una base siliconada.

### **ALMACENAJE, ENVASES Y MANIPULACIÓN**

ALQ-010 no ocasiona trastorno alguno para la salud en operaciones de manipulación, dosificación y almacenaje. Se puede almacenar perfectamente en el rango de temperaturas ambientes. Por su composición no deja residuos indeseables en las instalaciones, ni efluentes líquidos generados. Se suministra en recipientes de plástico reforzado de 200 y 1000 lts. de capacidad.